هندسة التبريد

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

هندسة التبريد

الدكتور
نديم عابد مخيبر
أستاذ في قسم الميكانيك العام

الدكتور
علي عيسى
أستاذ في قسم الميكانيك العام

جامعة دمشق

١٤٣٦ - ١٤٣٧هـ
٢٠١٥ - ٢٠١٦م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

المقدمة ٢١

البـــــــــــاب الأول

الفصل الأول : الأسس العامة لعمليات التبريد الصناعي ٢٥

1 - 1 مفهوم التبريد ٢٥

2 - 1 – الدورة التبريدية المغلقة ٢٦

3 - 1 – الدورة التبريدية المفتوحة ٢٧

4 - 1 – طرائق التبريد ٢٨

1 - 4 - 1 التبريد الناتج عن التحول الطوري للمادة ٢٨

2 - 4 - 1 عملية الخنق ٣٠

3 - 4 - 1 –عملية التمدد مع الحصول على عمل خارجي ٣٥

4 - 4 - 1 – الظاهرة الإعصارية ٣٧

5 - 4 - 1 فعالية بالت (الكهرحرارية) ٣٨

الفصل الثاني :الأسس الترموديناميكية لآلات التبريد ٤١

1 - 2 – تصنيف الدورات العكسية ٤١

2 - 2 – قانون الترموديناميك الثاني ٤٤

3 - 2 – الضياعات اللاعكوسة للدورات العكسية ٤٥

4 - 2 – الدورات العكسية العكوسة في الشروط المختلفة للمصادر الحرارية ٥٣

5 - 2 – الربط بين الدورتين المباشرة والعكسية ٥٩

6 - 2 –التحليل الاكسرجي للدورات العكسية ٦٢

الفصل الثالث : وسائط التبريد ٦٧

1 - 3 –تعريف ٦٧

2 - 3– الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد ٦٩

3 - 3 – الخواص الفيزيوحرارية والفيزيوكيميائية لوسائط التبريد ٧٩
1 - 3 - 3 – انحلال زيت التزييت في وسيط التبريد ٧٩
2 - 3- 3 – انحلال الماء في وسائط التبريد ٨٢
4 - 3 – تأثير خواص الوسائط التبريدية في التصميم والمؤشرات الاستثمارية لآلات التبريد ٨٣
5 - 3 – مبدأ اختيار الوسائط التبريدية ٨٥
6 - 3 – مجالات استخدام وسائط التبريد ٨٧
7 - 3 – وسائط التبريد المساعدة ٩٣
الفصل الرابع : دورات آلات التبريد البخارية ٩٧
1- 4– مبدأ عمل آلات التبريد ٩٧
2 - 4 – دورة كارنو العكسية ٩٨
3 - 4 – دورات آلات التبريد البخارية ١٠١
1 - 3 - 4 – الدورة النظرية ١٠١
2- 3 - 4 – الدورة التبريدية الفعلية ١٠٣
4 - 4 – طرق التقليل من الضياعات اللاعكوسة في آلات التبريد البخارية ١١٠
5 - 4 – الحسابات النظرية الأساسية لآلة تبريد ضاغطة بخارية بمرحلة واحدة ١١٨
6 - 4 – الدورات والمخططات الرمزية لآلات التبريد البخارية المتعددة المراحل ١١٩
1 - 6 - 4 – أسباب الانتقال إلى الانضغاط المتعدد المراحل ١٢٠
2 - 6 - 4 – تأثير الانضغاط والخنق المتعددي المراحل في الضياعات اللاعكوسة في الدورة ١٢١
3 - 6 - 4 – اختيار الضغط البيني ١٢٥
4 - 6 - 4 – دورة التبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل وبوجود صمام تمدد واحد ١٢٧
5 - 6 - 4 – دورة التبريد بمرحلتي انضغاط بصمامي تمدد مع تبريد بيني ١٣٠

كامل بين المرحلتين
6 - 6 - 4- دورة التبريد مع زيادة التبريد العميقة لسائل وسيط التبريد المرتفع الضغط في الوعاء البيني ١٣٣
7- 6 - 4- الحسابات الحرارية لدورات التبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني كامل بين المرحلتين ١٣٦
8 - 6 - 4- دورة تبريد مؤلفة من مرحلتي انضغاط مع زيادة تبريد وساطة مبادلات حرارية ١٣٧
مسائل محلولة ١٤٠
9- 6 - 4 - دورة التبريد بثلاث مراحل انضغاط ١٥٢
10 - 6 - 4 - دورة التبريد التسلسلية ١٥٤
11 - 6 - 4- مقارنة آلة التبريد التسلسلية وآلة التبريد المتعددة المراحل ١٥٨
12- 6 - 4 - دورة التبريد المؤلفة من مرحلة انضغاط واحدة مع ضاغط ناظم بخاري ١٥٩
مسائل محلولة ١٦٢
الفصل الخامس : الضواغط ١٨٥
1 - 5 - الضواغط المكبسية ١٨٧
1 - 1 - 5 - تصنيف الضواغط المكبسية ١٨٧
2 - 1 - 5 - الدورة النظرية للضواغط المكبسية ١٩٢
3 - 1 - 5 - عمل الضاغط عند إجراءات الانضغاط الترموديناميكية المختلفة ١٩٥
1 - 3 - 1 - 5 - إجراء الانضغاط الإيزوترمي ١٩٦
2 - 3 - 1 - 5 - إجراء الانضغاط الأديباتي ١٩٧
4 - 1 - 5 - إنتاجية و استطاعة الضاغط المكبسي النظري ١٩٩
5 - 1 - 5 - الضاغط المكبسي الفعلي ٢٠٣
6 - 1 - 5 - إنتاجية الضاغط الفعلي ٢٠٧
7 - 1 - 5 - استطاعة الضاغط الفعلي ٢١٥

8 - 1 - 5 – خصائص الضواغط المكبسية	٢١٩
9 - 1 - 5 – تنظيم الإنتاجية التبريدية للضاغط المكبسي	٢٢٢
10 - 1 - 5 – حساب الضاغط المكبسي	٢٢٩
1 - 10 - 1 - 5 – المقاييس والبارامترات الأساسية للضاغط	٢٣٢
1-11 - 5 – الدورة النظرية للانضغاط المتعدد المراحل	٢٣٤
1 -11- 1 - 5 – تحديد عدد مراحل الانضغاط	٢٣٨
2 - 11-1 - 5 – التبريد البيني غير الكامل بين مراحل الانضغاط	٢٣٩
مسائل محلولة	**٢٤١**
12-1 - 5 – تأثير نوعية وسيط التبريد في أداء الضاغط المكبسي	٢٦٢
2 - 5 – الضواغط الدورانية	٢٦٣
1 - 2 - 5 – الضواغط الدورانية ذات الشفرات المنـــزلقة	٢٦٣
2 - 2 - 5 – الضواغط الدورانية ذات الأسطوانة الدوارة المنـــزلقة	٢٦٧
3 - 5 –الضواغط النابذة: (التوربينية)	٢٩٦
1 - 3 - 5 –معادلة التصريف	٢٧٤
2 - 3 - 5 –معادلة عزوم كمية الحركة	٢٧٥
3 - 3 - 5 –البارامترات اللابعدية للضاغط النابذ	٢٧٦
4 - 3 - 5 –الدولاب العامل	٢٧٩
5 - 3 - 5 –الاستطاعة الداخلية المرحلة ، المردود الهيدروليكي	٢٨٦
6 - 3 - 5 –تحديد مقاسات الدولاب العامل	٢٩٠
7 - 3 - 5 – طرائق التحكم بإنتاجية الضاغط التوربيني	٢٩٣
4 - 5 – الضواغط الحلزونية (اللولبية)	٣٠٣
1 - 4 - 5 – أسس الحساب للضواغط اللولبية	٣٠٥
2 - 4 - 5 – الإنتاجية الحجمية	٣١١
1 - 2 - 4 - 5 – تغير حجم التجويف الزوجي	٣١١
2 - 2- 4- 5 درجة الانضغاط الهندسية	٣١١
3 -2- 4 - 5 – الحجم المعبأ (المملوء)	٣١١

4 - 2- 4- 5 – مقاطع نوافذ (فتحات) الامتصاص والطرد ٣١٢
5 - 2 - 4 - 5 – حساب زاوية الامتصاص للولب المقود ٣١٣
6 - 2 - 4 - 5 –السرعة المحيطية ٣١٤
7 - 2 - 4 - 5 – معامل الإنتاجية ٣١٥
3 - 4 - 5 –الاستطاعة المستهلكة والمردود ٣١٧
4 - 4 - 5 – كمية الزيت اللازمة للضاغط ٣٢٠
الفصل السادس: المكثفات وأبراج التبريد ٣٢٣
1 - 6 – المكثفات المائية ٣٢٣
1 - 1 - 6 – مكثفات التيار ٣٢٤
1 - 1 - 1 - 6 – المكثفات الأفقية الأنبوبية الصندوقية ٣٢٤
2 - 1 - 1 - 6 – المكثفات الأنبوبية الشاقولية ٣٢٧
3 - 1 - 1 - 6 – المكثفات التجميعية ٣٢٩
4 -1 - 1 - 6– الحسابات الحرارية للمكثفات الأنبوبية الأفقية ٣٢٩
5 - 1 - 1 - 6 – الحسابات الحرارية للمكثفات الأنبوبية العمودية ٣٤٢
2 -1 - 6 – مكثفات الغمر و المكثفات التبخيرية ٣٤٥
1 -2 -1 - 6 – الحسابات الحرارية لمكثفات الغمر والمكثفات التبخيرية ٣٤٨
2 - 6 – المكثفات الهوائية ٣٥٦
1 - 2 - 6 الحسابات الحرارية للمكثفات الهوائية ٣٥٧
3 - 6 – اختيار المكثفات المائية ٣٦١
4 - 6 – اختيار المكثفات الهوائية ٣٦٣
5 - 6 –أبراج التبريد ٣٦٥
1 - 5- 6 –مردود أبراج التبريد ٣٦٩
2 - 5 - 6 – تصميم أبراج التبريد ٣٧٢
1- 2 - 5 - 6 – أبراج التبريد ذات تيار الهواء الطبيعي ٣٧٢
2 - 2 - 5 - 6 – أبراج التبريد ذات التيار القسري ٣٧٦
3- 2 - 5 - 6 – استطاعة أبراج التبريد واختيارها ٣٧٩

4- 2 - 5 - 6 – التحويل عن المكثف أو الممر الجانبي ٣٨١
مسائل محلوله ٣٨٤
الفصل السابع: المبخرات ٣٩٩
1 - 7 – المبخرات التي تمتص الحرارة من سائل وسيط تبريد ثانوي ٣٩٩
2 - 7 – المبخرات الصفائحية ٤٠٤
3- 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات ٤٠٥
4 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الأنبوبية الصندوقية (الغليان يتم خارج الأنابيب) ٤٠٧
5 - 7 –الحسابات الحرارية للمبخرات الأنبوبية الصندوقية (الغليان فيها يتم داخل الأنابيب) ٤١٤
6 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الصفائحية ٤١٨
7 – 7 – المبخرات الهوائية الجافة ٤١٩
8 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الهوائية الجافة ٤٢١
9 - 7–بطاريات التبريد ٤٢٧
10 - 7 – حساب واختيار أجهزة تبريد الغرف ٤٣٠
مسائل محلوله ٤٣٣
الفصل الثامن : الأجهزة المساعدة ٤٤٧
1- 8 – المبادلات الحرارية ٤٤٧
2 - 8 – الأوعية البينية ٤٥٠
3 - 8 – فاصل الزيت ٤٥١
4 - 8 – مجمع الزيت ٤٥٣
5 - 8 – خزانات تجميع وسيط التبريد ٤٥٣
6 - 8 – فواصل السوائل ٤٥٤
7 - 8 – مبردات الهواء ٤٥٥
8 - 8 – مصائد الأوساخ و الترسبات ٤٥٦
9 - 8 – المرشحات (الفلاتر) ٤٥٧

الفصل التاسع: آلات التبريد الهوائية والغازية ٤٥٩
9- 1 – آلات التبريد الهوائية ٤٥٩
9 - 1 - 1 – الدورة النظرية لآلة التبريد الهوائية ٤٥٩
9 - 1 - 2– دورة العمل الفعلية لآلة التبريد الهوائية ٤٦٢
9 - 1 - 3 – دورة آلة التبريد الهوائية الإرجاعية ٤٦٣
9 - 1 - 4 – الدورة الإرجاعية المفتوحة مع ضغط زائد ٤٦٤
9 - 1 - 5 – الدورة الإرجاعية المفتوحة بضغط منخفض (أخفض من الضغط الجوي) ٤٦٦
9 – 2 – دورة آلة التبريد الغازية (فيلبس) ٤٧٣
9 - 3 –مقارنة آلات التبريد الهوائية والغازية بالبخارية ٤٧٧
الفصل العاشر: آلات التبريد الكهرحرارية ٤٧٩
10 - 1 – المبادئ الأساسية لنظرية التبريد الكهرحراري ٤٧٩
10 - 2 – أنظمة عمل المزدوجة الحرارية وبارامتراتها الأساسية ٤٨١
10 - 3 – اختيار مواد المزدوجات الحرارية ٤٨٤
10 - 4 – تقييم فعالية استخدام التبريد الكهرحراري ٤٨٥
الفصل الحادي عشر: آلات التبريد القاذفة للبخار ٤٨٧
11 - 1 – مبدأ العمل، إجراء العمل النظري والمعامل الحراري ٤٧٨
11 - 2 –الدارة الفعلية لعمل آلة التبريد القاذفة للبخار ٤٩٢
11 - 3 – الحسابات الحرارية للعناصر الرئيسة في آلة التبريد القاذفة البخارية ٤٩٩
11 - 3 - 1 – القاذف الرئيس ٤٩٩
11 - 3 - 2 – المبخر ٥٠١
11 - 3 - 3 – المكثفات ٥٠٣
11 - 4 – أتمتة وتنظيم إنتاجية آلة التبريد القاذفة البخارية ٥٠٨
11 - 5 – خواص عمل آلات التبريد القاذفة البخارية عند عملها على أجسام عاملة مختلفة ٥٠٩

الفصل الثاني عشر: آلات التبريد الامتصاصية ٥١٥
مقدمة ٥١٥
12 - 1- مخطط ومبدأ عمل آلة التبريد الامتصاصية ٥١٥
12 - 2 - التبخر والتكاثف المحاليل الثنائية ٥١٨
12 - 3 - الحسابات الحرارية للإجراءات النظرية لمختلف مخططات الات التبريد الامتصاصية ٥٢٥
12 - 3 - 1 - المخططات الترموديناميكية للمحاليل الثنائية ٥٢٥
12 - 3 - 2 - المخطط المبسط لآلة التبريد الامتصاصية ٥٢٦
12 - 3 - 3- الحساب الحراري للمخطط المبسط للآلة ٥٣١
12 - 3 - 4- الحساب التخطيطي لآلة التبريد المبسطة ٥٣٣
12 - 3 - 5- آلة التبريد الامتصاصية مع مبادل حراري ٥٣٥
12 - 3 - 6- آلة التبريد الامتصاصية المجهزة بمبادل حراري ومقطر بعد المولد ٥٣٧
12 - 3 - 7- الحساب التخطيطي لآلة التبريد الامتصاصية المجهزة بمبادل حراري ومقطر مائي ٥٤٤
12 - 3 -8- تغذية المحلول العكسية للمولد ووعاء الامتصاص ٥٤٤
12 - 3 - 9- المبادل الحراري للبخار والسائل ٥٤٦
12 - 4 - تأثير بارامترات المصادر الخارجية في إجراءات وفعاليـــة آلات التبريد الامتصاصية ٥٤٧
12 - 4 - 1- تأثير درجة حرارة المصدر المسخّن ٥٤٨
12 - 4 - 2- تأثير درجة حرارة الوسط المبرّد ٥٥٣
12 - 4 - 3- تأثير درجة حرارة الوسط المبرّد ٥٥٤
12 - 5 - دارة التبريد الامتصاصية بوعاءي امتصاص وبمولدين وبمرحلة واحدة ٥٥٤
12 - 6- آلة التبريد الامتصاصية بدون مضخة ٥٥٦
12 - 6 - 1- آلة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الدوري ٥٥٦

2 - 6 - 12- دورة آلة التبريد الامتصاصية بدون مضخة ذات التأثير المستمر (المنزلية) ٥٥٧
7 - 12 - خصائص إجراءات آلات التبريد الامتصاصية التي يكون فيها الماء وسيط للتبريد وبروميد الليثيوم مادة ماصة ٥٦١
8 - 12 - دورة آلة التبريد الامتصاصية مع ضاغط ناظم بخاري ٥٦٦
9 - 12- تصميم وخصائص حساب الأجهزة الأساسية لآلات التبريد الامتصاصية ٥٦٧
1 - 9 - 12- المولدات ٥٦٨
2- 9 - 12- الدفلكماتور ٥٧١
3 - 9 - 12- أوعية الامتصاص ٥٧١
4 - 9- 12 - المبادلات الحرارية ٥٧٢
5 - 9 - 12-المبخرات ٥٧٣
6 - 9 - 12- المكثفات ٥٧٣
7 - 9 - 12- مبردات الهواء ٥٧٣
10 - 12- خصائص وتنظيم آلات التبريد الامتصاصية ٥٧٤
مسائل محلولة ٥٧٦
الفصل الثالث عشر: تمييع الغازات ٥٩١
1 - 13 - تمييع الهواء ٥٩١
1 - 1 - 13- نظام لِيند ٥٩١
2 - 1 - 13 - نظام كلاود ٥٩٤
2 - 13 - تمييع الهيدروجين ٥٩٧
3 - 13 - تمييع الهيليوم ٥٩٩
الفصل الرابع عشر: المضخة الحرارية ٦٠١
1 - 14 - مقدمة ٦٠١
2 - 14 - دورة المضخة الحرارية ٦٠١
3 - 14 - دارات المضخة الحرارية ٦٠٢

4 - 14 –المقارنة بين المخططات المختلفة ٦٠٩
5 - 14 – التطبيقات الصناعية للمضخة الحرارية ٦١٠
6 - 14 –المصادر الحرارية للمضخة الحرارية ٦١٨
7 - 14 – أداء المضخة الحرارية ٦٢٣
مسائل محلوله ٦٢٤
الفصل الخامس عشر: التبريد بالطاقة الشمسية ٦٣١
1 - 15 – مقدمة ٦٣١
2 - 15 – المجمعات الشمسية ٦٣٢
3 - 15 – التبريد الشمسي ٦٣٤
1 - 3 - 15 – نظام التبريد الضاغطي البخاري باستخدام الطاقة الشمسية ٦٣٤
2 - 3 - 15 – نظام التبريد الامتصاصي البخاري باستخدام الطاقة الشمسية ٦٣٥
3 -3 - 15 – نظام التبريد المفتوح العامل على كلوريد الليثيوم – ماء ٦٤٠

البـــــــــــــاب الثاني

الفصل الأول: المنشآت التبريدية ٦٤٥
1-1- نماذج البرادات وخصائصها ٦٤٥
2-1- مواصفات غرف البراد ٦٥٠
3-1- الحفاظ على درجة حرارة ورطوبة الهواء في المكان المبرَّد ٦٥٣
1-3-1- درجة الحرارة التوازنية للهواء في المكان المبرَّد ٦٥٣
2-3-1- الرطوبة النسبية التوازنية للهواء في المكان المبرد ٦٥٦
مسائل محلولة ٦٦٦
الفصل الثاني: تخطيط البرادات ٦٦٩
2-1- حساب مساحة البرادات ٦٦٩
2-2- حساب أطوال الأرصفة ٦٧٤
2-3- حساب عدد الآليات اللازمة لنقل المواد ضمن البراد ٦٧٦

2-4- مبادئ تخطيط وتصميم البرادات ٦٧٧
2-5- الشروط الواجب توفرها في أقسام الآلات والأجهزة ٦٨٦
2-6- تجمد التربة وسبل علاجها ٦٨٧
مسائل محلولة ٦٨٩
الفصل الثالث: التركيب الإنشائي والعازلية للبرادات ٦٩٩
3-1- التركيب الإنشائي للبرادات ٦٩٩
3-2- مهمة عزل البرادات ٧٠٠
3-3- مواد عزل البرادات ٧٠٣
3-4- المواد العازلة الهيدروليكية (ضد الرطوبة) ٧٠٨
3-5- التركيب الإنشائي للعازل في البرادات ٧١٠
مسائل محلولة ٧٢٥
الفصل الرابع: حساب التدفقات الحرارية في البرادات ٧٢٩
4-1- مفاهيم أساسية ٧٢٩
4-2- التدفق الحراري عبر جدران البراد ٧٣٣
4-3- التدفق الحراري الناتج عن المعالجة الحرارية للسلع Q2 ٧٣٩
4-4- التدفق الحراري الناجم عن تهوية الغرف المبردة ٧٤٢
4-5- التدفق الحراري الناتج عن الاستثمار ٧٤٣
4-6 - مجموع التدفقات الحرارية الناتجة عن الاستثمار ٧٤٥
4-7- التدفقات الحرارية الناتجة عن تنفس الفواكه ٧٤٧
4-8- إجمالي التدفقات الحرارية المحسوبة ٧٤٨
الفصل الخامس: طرق تبريد غرف البرادات ومخططات محطات التبريد ٧٥٣
5 1 تحليل طرق تبريد الغرف ٧٥٣
5-2- حساب أقطار الأنابيب ٧٦٢
5-3- مخططات دارات قسم الآلات ٧٦٦
5-3-1- دارة الضواغط ذات المرحلة الواحدة عند وجود عدد من درجات الغليان المختلفة ٧٦٦

2-3-5- دارة المكثف ومحطة التنظيم (عند مرحلة واحدة للانضغاط) ٧٦٩
3-3-5- دارة الضواغط بمرحلتي انضغاط ٧٧١
4-5- مخططات دارة تغذية نظام التبخير بوسيط التبريد ٧٧٣
5-5 – مخططات باستخدام وسائط التبريد الثانوية ٨٠٣
1-5-5- مخطط بأجهزة تبريد مفتوحة ومبخر مفتوح ٨٠٥
2-5-5- مخطط بأجهزة تبريد مفتوحة ومبخر مغلق ٨٠٨
3-5-5- مخطط بأجهزة تبريد مغلقة ومبخر مفتوح ٨٠٨
4-5-5- مخطط بأجهزة تبريد مغلقة ومبخر مغلق ٨١٠
5-5-5- مخطط إذابة الجليد عن سطوح البطاريات المحلولية ٨١٤
الفصل السادس: اختيار التجهيزات لقسم الآلات ٨١٧
6-1- اختيار نوع وعدد آلات التبريد ٨١٧
6-2- اختيار نوع وعدد المبخرات و المكثفات والتجهيزات الأخرى ٨٢٢
6-3- تخطيط أقسام الآلات ٨٢٥
الفصل السابع: أسس المعالجة التبريدية وتخزين المنتجات الغذائية ٨٣٥
7-1- مفاهيم أساسية ٨٣٥
7-2- تأثير تغليف المنتج على الجفاف ٨٣٩
7-3- المعالجة التبريدية للمنتجات الغذائية ٨٤٠
1-3-7- التبريد ٨٤٠
2-3-7- التجميد الخفيف ٨٤١
3-3-7- التجميد ٨٤٢
4-3-7- التجفيف التصعيدي ٨٤٣
5-3-7- التسخين وإزالة التجميد ٨٤٤
4-7- تصنيف غرف المعالجة التبريدية للحوم ٨٤٦
5-7- المعالجة التبريدية وتخزين لحوم المواشي ٨٤٨
6-7- المعالجة التبريدية وتخزين ذبائح الطيور ٨٦٠
7-7- المعالجة التبريدية وتخزين الأسماك ٨٦٢

8-7- المعالجة التبريدية وتخزين الثمار والخضار ٨٦٦
8-7-1- تأثير نظام التبريد على نظـــام المعالجـــة التبريديـــة للثمـــار والخضار ٨٦٨
8-7-2- تخزين الثمار في وسط غازي مراقب ٨٧٤
الفصل الثامن: محطات التبريد الصغيرة ٨٨١
8-1- التجهيزات التبريدية التجارية ٨٨١
8-1-1- الفاترينات ٨٨٦
8-1-2- المنصات ٨٨٩
8-1-3- المنصات / فاترينات ٨٩١
8-1-4- الخزانات ٨٩٤
8-1-5- الغرف مسبقة الصنع ٨٩٥
8-2- البرادات المنزلية والجمادات ٨٩٦
8-2-1- البرادات المنزلية الضاغطية ٨٩٦
8-2-1-1- البرادات ذات الدوران الطبيعي للهواء ٨٩٨
8-2-1-2- البرادات ذات الدوران القسري للهواء ٩٠٠
8-2-1-3- دوران الهواء في حجرة البراد المنزلي ٩٠٢
8-3- صناديق البرادات ٩٠٥
8-4- المجموعات التبريدية ٩٠٧
8-4-1- عناصر المجموعات التبريدية ٩١٠
الفصل التاسع: محطات النقل التبريدية ٩١٥
9-1- النقل التبريدي بالسيارات ٩١٥
9-1-1- الأشكال الأساسية لوسائط النقل التبريدي ٩١٥
9-1-2- الحسابات الحرارية للصناديق الايزوترمية ٩١٨
9-1-3- أنظمة تبريد السيارات البراد ٩٢٢
9-1-4- مجموعات محطات التبريد الضاغطية ٩٢٨
9-1-5- شروط حفظ المنتجات الغذائية السريعة التلف عنـــد النقـــل ٩٣٣

بالسيارات
2-9- النقل التبريدي على الخطوط الحديدية ٩٤٠
1-2-9 مواد العزل الحراري المستخدمة في العربات الايزترمية ٩٤٦
2-2-9- الحسابات الحرارية للعربات الايزوترمية ٩٤٦
3-2-9- التبريد الضاغطي للعربات المبردة ٩٥١
الفصل العاشر: استثمار محطات التبريد **٩٥٥**
١-10- مفاهيم أساسية ٩٥٥
2-10- تجريب وتعبئة النظام ٩٥٥
3-10- الاستثمـــار ٩٥٦
4-10- إقلاع محطة التبريد ٩٥٧
5-10- تنظيم العمل ٩٦٢
6-10- خدمة عناصر محطة التبريد ٩٦٧
الفصل الحادي عشر: جليد الماء الاصطناعي **٩٧١**
1-11- الخواص الفيزيائية لجليد الماء ٩٧١
2-11- مولدات الجليد الكتلي ٩٧٢
3-11- مولدات الجليد الثلجي والأنبوبي ٩٧٨
4-11- مصانع الجليد الاصطناعي ٩٨١
5-11- حساب مصنع الجليد الأنبوبي ٩٨٢
مسائل محلولة : **٩٨٨**
الفصل الثاني عشر: الجليد الجاف **٩٩٥**
1-12- مفاهيم عامة ٩٩٥
2-12- المخططات التكنولوجية لإنتاج الجليد الجاف ٩٩٨
3-12- مخطط إنتاج الجليد الجاف بالدورة المرتفعة الضغط ٩٩٩
4-12- مخطط إنتاج الجليد الجاف بطريقة الكبس في دورة الضغط العالي ١٠٠١
5-12- مخطط إنتاج الجليد الجاف بدورة الضغط المنخفض ١٠٠٣
الفصل الثالث عشر: أجهزة التبريد التكنولوجية **١٠٠٥**

13-1- تصنيف معدات التبريد التكنولوجية ١٠٠٥
13-2- أجهزة التجميد الهوائية ١٠٠٦
13-3- الأجهزة ذات العربات ١٠٠٧
13-4- أجهزة التجميد ذات الأحزمة الناقلة ١٠٠٨
13-5- أجهزة التبريد التلامسية ١٠١٤
13-6- الأجهزة اللوحية (الصفيحية) ١٠١٦
13-7- الأجهزة الطبلية ١٠١٧
13-8- الأجهزة الشريطية ١٠١٨
13-9- الأجهزة التغطيسية ١٠١٩
13-10- الأجهزة العاملة على الآزوت ١٠٢٢
13-11- الأجهزة العاملة على ثاني أكسيد الكربون ١٠٢٥
13-12- الأجهزة العاملة على الفريونات ١٠٢٦
13-13- محطات التصعيد Sublimation ١٠٢٦
الفصل الرابع عشر: أتمتة محطات التبريد ١٠٣٣
14-1- مفاهيم عامة ١٠٣٣
14-2- المراقبة الآلية ١٠٣٤
14-3- التشوير الآلي ١٠٣٤
14-4- الحماية الآلية ١٠٣٥
14-5- التنظيم الآلي ١٠٣٨
14-6- تنظيم درجة حرارة المكان المبرد ١٠٤٠
14-7- أتمتة المبخرات ١٠٤٩
14-7-1- مؤشرات امتلاء المبخرات ١٠٤٩
14-7-2- طرق الملء الآلي للمبخر بوسيط التبريد ١٠٥٢
14-7-3- تنظيم ضغط غليان وسيط التبريد ١٠٥٩
14-8- أتمتة المكثفات ١٠٦٠
14-8-1- المكثفات ذات التبريد المائي (المكثفات المائية) ١٠٦١

14-8-2- المكثفات ذات التبريد الهوائي (المكثفات الهوائية) ١٠٦٣
14-9- تنظيم إنتاجية الضاغط ١٠٦٥
14-10- إذابة الثلج عن المبخرات ١٠٦٦
14-11- أجهزة ووسائط التنظيم والحماية الآليتين ١٠٧٦
14-11-1- صمامات التنظيم الترموستاتية ١٠٧٦
14-11-2- ريليه درجة الحرارة ١٠٨٢
14-11-3- ريليه ومنظمات الضغط ١٠٨٤
14-11-4- صمامات التنظيم المائية ١٠٨٦
14-11-5- منظمات ضغط التكاثف ١٠٨٨
14-11-6- الصمامات الكهرطيسية (سولينويد) Solenoid Valves ١٠٨٩
الملاحق ١٠٩٣
المراجع ١١١٩

المقدمة

تم وضع كتاب هندسة التبريد ليكون مرجعاً قيماً بين أيدي طلابنا ومهندسينا، يسهم في إغناء مكتباتنا العلمية، بالإضافة إلى أنه يشمل ضمن فصوله مفردات منهاج مقرر هندسة التبريد لطلاب السنة الخامسة من قسم الميكانيك العام في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق.

ويتألف هذا الكتاب من بابين: آلات التبريد ومحطات التبريد. ويختص الباب الأول بآلات التبريد، إذ يبحث بشكل أساسي في آلات التبريد الضاغطة البخارية والعمليات الترموديناميكية التي تتم فيها بحثاً مفصلاً ووافياً، بالإضافة إلى دراسة وحساب المكثفات والمبخرات وأبراج التبريد، مما يمكن مهندسينا من استيعاب تجهيزات التبريد والتكييف المنتشرة في جميع مرافق القطر. وتناولنا آلات التبريد الامتصاصية مع بعض التفصيل، أما فيما يتعلق بآلات التبريد الهوائية والغازية والقاذفة للبخار والكهرحرارية فقد تناولناها من حيث مبدأ عملها فقط متجنبين الغوص في تفصيلاتها وذلك لقلة استعمال هذه الآلات في بلادنا.

كما استعرضنا في هذا الباب تمييع الغازات والمضخة الحرارية وتطبيقاتها الصناعية، واستخدام الطاقة الشمسية في مجال التبريد.

ويبحث الباب الثاني بشكل أساسي في محطات التبريد (مستودعات التبريد) من حيث تخطيط البرادات والتركيب الإنشائي والعازلية للبرادات وحساب الأحمال الحرارية وطرق تبريد غرف البرادات ومخططات التبريد واختيار وأسس المعالجة التبريدية وتخزين المنتجات الغذائية. كما يتناول محطات التبريد الصغيرة من البرادات المنزلية والتجارية وذات الدوران الطبيعي والقسري للهواء. كما ويبحث في محطات النقل التبريدية منها برادات السيارات وبرادات الخطوط الحديدية. كما يتناول استثمار محطات التبريد من حيث التجريب وتعبئة النظام والاستثمار وإقلاع محطات التبريد وتنظيم العمل فيها بالإضافة إلى دراسة برادات

تجميد المياه والجليد الجاف، ويتناول أجهزة التبريد التكنولوجية الخاصة بالأشكال المتعددة للبرادات. وأخيراً يبحث هذا الباب في أتمتة محطات التبريد بأشكالها المتعددة الكبيرة والمتوسطة والصغيرة وفي أجهزة التنظيم والحماية لآلات التبريد.

وبهدف تثبيت المعلومات في ذهن القارئ وتوضيح الشروحات النظرية فقد أوردنا في نهاية كل فصل عدداً من المسائل المحلولة المكملة للدراسة النظرية.

وأخيراً نرجو أن يكون هذا الكتاب مرجعاً مفيداً لكل المهتمين في مجال التبريد من مهندسين وطلاب وغيرهم في جميع أنحاء وطننا العربي الكبير.

دمشق في ٢٠٠٥/٣/٢٢ **المؤلفان**

البـــــاب الأول

- الفصل الأول : الأسس العامة لعمليات التبريد الصناعي
- الفصل الثاني :الأسس الترموديناميكية لآلات التبريد
- الفصل الثالث : وسائط التبريد
- الفصل الرابع : دورات آلات التبريد البخارية
- الفصل الخامس : الضواغط
- الفصل السادس: المكثفات وأبراج التبريد
- الفصل السابع: المبخرات
- الفصل الثامن : الأجهزة المساعدة
- الفصل التاسع: آلات التبريد الهوائية والغازية
- الفصل العاشر: آلات التبريد الكهرحرارية
- الفصل الحادي عشر: آلات التبريد القاذفة للبخار
- الفصل الثاني عشر: آلات التبريد الامتصاصية
- الفصل الثالث عشر: تمييع الغازات
- الفصل الرابع عشر: المضخة الحرارية
- الفصل الخامس عشر: التبريد بالطاقة الشمسية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

الأسس العامة لعمليات التبريد الصناعي

Fundamentals of Industrial Refrigeration Process

1 - 1 مفهوم التبريد (Refrigeration Concept) :

نقصد بالتبريد الصناعي عملية نزع الحرارة من جسم درجة حرارته أخفض من درجة حرارة الوسط المحيط به وهو يختلف عن حادثة التبريد الطبيعي من حيث إن درجة حرارة الجسم المبرّد (البراد) في حالة التبريد الطبيعي تكون أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط.

ونستنتج أنه للحفاظ على درجة حرارة جسم أخفض من درجة حرارة الوسط المحيط فإنه لابد من إجراء نزع اصطناعي لحرارة هذا الجسم ونقلها إلى الوسط الخارجي المحيط به، إن حادثة التبريد هذه ترتبط ارتباطا وثيقا بعملية التبادل الحراري أو تتم بمشاركة ما لا يقل عن جسمين، الجسم المعطي للحرارة (المبرّد) والجسم الآخذ للحرارة (المبّرد).

يسمى الجسم الآخذ للحرارة المادة العاملة أو وسيط التبريد (Refrigerant) وتسمى كمية الحرارة التي يمتصها وسيط التبريد الإنتاج التبريدي (Refrigerating Effect) أو القدرة التبريدية الفعالة وتقدر عادة بواحدات القدرة مثل الكالوري أو الواط وعلى سبيل المثال تساوي قيمة الإنتاج التبريدي لواحدة كتلة الجليد المائي عند درجة حرارة الصفر المئوي (80 Kcal/Kg) والتي تعادل الحرارة اللازمة لذوبانه عند الدرجة نفسها.

لإنجاز عملية التبريد يمكن أن نستفيد من أي عملية فيزيائية يرافقها امتصاص للحرارة مثل :

١- التحولات الطورية التي يرافقها امتصاص للحرارة مثل الذوبان - التبخر - انحلال أملاح في السوائل - التصعيد.

٢- تمدد الغازات (مع الحصول على عمل خارجي).

٣- الخنق (فعالية جول - طومسون).

٤- الإعصار في الأنابيب.

٥- إزالة مغنطة الجسم الصلب (الفعالية المغناطيسية الحرارية).

٦- الفعالية الكهرحرارية (فعالية بالت).

2 - 1 – الدورة التبريدية المغلقة (Closed Refrigeration Cycle) :

إن التبريد بوساطة عمليات منفردة مستقلة به مثل (ذوبان الجليد – غليان الهواء المائع – تصعيد الفحوم الهيدروجينية الصلبة – خنق الغازات .... الخ)، يمكننا من الحصول على عملية تبريد مستمرة ما دمنا نملك كمية لانهائية من وسيط التبريد.

في الواقع يمكننا الحصول على عملية تبريد مستمرة بكمية محدودة من وسيط التبريد إذا تمكنا من إعادة المادة العاملة إلى حالتها الأولى بعد انجاز التأثير التبريدي مع ملاحظة أنه عند إجراء مثل هذه العملية الدائرية فإنه يجب باستمرار طرح الحرارة التي يمتصها وسيط التبريد أثناء عملية التبريد إلى جسم آخر كالوسط الخارجي مثلا والذي حرارته أعلى من درجة حرارة الوسط الذي تم تبريده.

من المعلوم أن الحرارة تنتقل تلقائيا بشكل طبيعي من الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأخفض كما أن انتقال الحرارة بالاتجاه المعاكس لا يمكن أن يتم من تلقاء نفسه ما لم تصرف قدرة ما كعمل ميكانيكي أو ما يعادله.

وبشكل آخر يمكن التعبير عن ذلك حسب قانون الترموديناميك الثاني الذي ينص على أنه لا يمكن أن تتم عملية تبريد اصطناعي مستمرة من دون صرف قدرة.

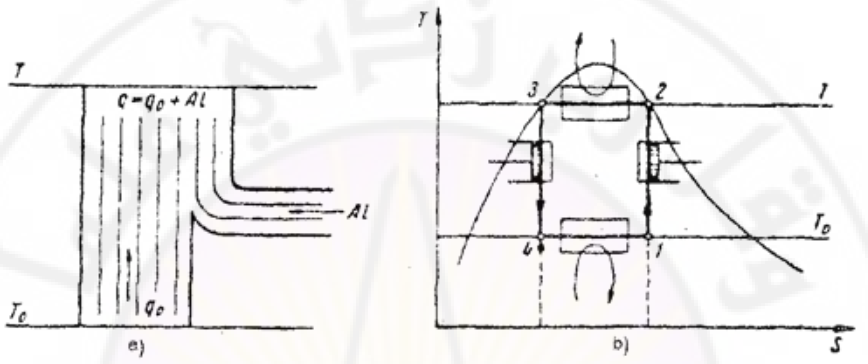
تسمى مجموعة العمليات المطبقة على وسيط التبريد لإنجاز الدورة التبريدية المستمرة الدورة الترموديناميكية العكسية والتي تختلف عن الدورة الترموديناميكية المباشرة في كون أنه لتحقيق الدورة الأولى نحتاج إلى صرف قدرة أما في الدورة الثانية فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد تلقائيا عبر المادة العاملة مع حصولنا على عمل.

في دورة كارنو التبريدية (الشكل ! - 1) يكتسب وسيط التبريد حرارة في المبادل الحراري من الجسم الذي يتم تبريده عند درجة حرارة ثابتة T_o ، ثم يتم ضغط وسيط التبريد أديباتياً حتى تصل درجة حرارته إلى قيمة T أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط.

في مبادل حراري آخر يتم نزع حرارة وسيط التبريد عند درجة حرارة ثابتةT ومن ثم يتم إجراء تمدد أديباتي لوسيط التبريد حيث نحصل على عمل من جراء انخفاض طاقته الداخلية ودرجة حرارته إلى القيمة T_o ويكون العمل الكلي المصروف يساوي الفرق بين عمل الضاغط وعمل التمدد.

مما سبق نرى أن الدورة الترموديناميكية العكسية تتم بمساعدة أربعة عناصر : ضاغط – ممدد – مبادلين حراريين.

في الدورات الفعلية يمكن أن تتم عملية التمدد باستخدام صمام تمدد أو خنق (Expansion/throttling Valve) أو ممدد توربيني (Turbine Expander).



الشكل (1 - i) دورة كارنو التبريدية

تجدر الإشارة إلى أنه يمكن الاستفادة من دروة كارنو العكسية بالنسبة للتدفئة أيضا إذ تسمى الدورة عندئذ دورة المضخة الحرارية.

أخيراً ومما سبق يمكننا تعريف آلة التبريد بأنها الآلة الحاوية عناصر ضرورية لتحقيق الدورة الحرارية العكسية.

3 - 1 – الدورة التبريدية المفتوحة (Open Refrigeration Cycle) :

تسمى الدورة التبريدية الدورة التبريدية المفتوحة عندما يتم تحقيق المراحل المختلفة للدورة في أمكنة وأزمنة مختلفة وكمثال على ذلك يمكن بمساعدة هذه الدورة الحصول على كل من غاز الفحم الصلب (الجليد الجاف) – الهواء السائل، الأمونيا السائلة، إذ تتم عملية الحصول على الجليد الجاف على الشكل التالي :

يضغط غاز الفحم في الضاغط إلى ضغط معين ومن ثم يتم طرد قسم من حرارته إلى الوسط المحيط فيتحول إلى سائل ولدى تمرير هذا السائل عبر صمام تمدد إلى ضغط أخفض يتحول إلى جسم صلب جاف يستخرج ويحفظ من أجل الاستفادة منه لأغراض التبريد إذ

يتصعد إلى غاز مباشرة لدى امتصاصه للحرارة وبدرجة حرارة تعتمد على قيمة الضغط المطبق فمثلا يتحول إلى غاز بدرجة حرارة $78.5^{o}C$- عند الضغط الجوي العادي.

يمكن مشاهدة الدورة التبريدية المفتوحة أيضا لدى انحلال الأملاح في الماء إذ يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة تجمد المحلول وبالتالي الاستفادة من هذه الظاهرة لأغراض التبريد، عند إعادة فصل المزيج (بعملية التقطير) فإننا نحتاج إلى صرف قدرة، أي أن عملية الانحلال والحصول على البرودة (امتصاص الحرارة) تشكل قسما من الدورة المفتوحة ثم تأتي عملية الفصل مع صرف قدرة (إعطاء حرارة) لتشكل القسم التالي من الدورة ونلاحظ أنه يمكن إنجاز كلتا المرحلتين في أمكنة وأزمنة مختلفة.

4 - 1 – طرائق التبريد (Refrigeration Methods) :

1 - 4 - 1 التبريد الناتج عن التحول الطوري للمادة

(Refrigeration by phase-change of the substance)

آ- الذوبان (Melting) :

يمكن الاستفادة من المواد السائلة ذات درجات حرارة التجمد المنخفضة لأغراض التبريد، فالماء النقي والذي درجة حرارة تجمده (أو انصهاره) صفر مئوي يحقق إمكان الاستفادة منه للتبريد حتى درجة حرارة صفر، كذلك فإن درجة حرارة تجمد محلول كلور الصوديوم في الماء بنسبة 23% وزنا تحقق الاستفادة من هذا المحلول للتبريد حتى درجة حرارة قدرها $21.2^{o}C$- (وهي درجة حرارة تجمده عند الضغط الجوي النظامي).

كما أن درجة حرارة تجمد مزيج من كلورات الكالسيوم المائية والماء بنسبة 30% وزنا تحقق عملية تبريد ناجحة حتى $55^{o}C$ تحت الصفر.

يستعمل لأغراض التبريد عادة الجليد الناتج عن محلول ملحي والذي تتساوى درجتا حرارة ذوبانه وتجمده مع التنويه إلى أن قيمة الحرارة الكامنة للمزيج الملحي تنخفض بانخفاض درجة حرارة التجمد.

ب- الغليان والتصعيد (Boiling & Sublimation) :

من المعلوم أن عملية التبخر تتم بثبوت كل من الضغط ودرجة الحرارة إذ تتحدد كمية حرارة التبخر من العلاقة التالية :

$$r = u'' - u' + AP(v'' - v') = i'' - i' \qquad (1\text{-}1)$$

u', u'' هما الطاقة الداخلية لكل من البخار المشبع والسائل.

v', v'' الحجم النوعي لكل من البخار المشبع والسائل.

تساوي حرارة التبخر للماء عند درجة الصفر المئوي r=597.3 KCal/Kg .

لأغراض التبريد من الأفضل استخدام السوائل التي تتميز بدرجات حرارة تبخر منخفضة عند الضغط الجوي العادي وحرارة تبخر مرتفعة.

تتبع كل من درجة حرارة الغليان وحرارة التبخر للضغط فمع ارتفاع قيمة الضغط ترتفع درجة الغليان وتنخفض قيمة حرارة التبخر. نقطة التقاء خط السائل مع خط البخار تسمى النقطة الحرجة.

عند النقطة الحرجة تتناهى قيمة حرارة التبخر إلى الصفر ،عند درجة حرارة أعلى من الدرجة الحرجة لا يمكن للغاز أن يتحول إلى سائل تحت أي ظرف كان.

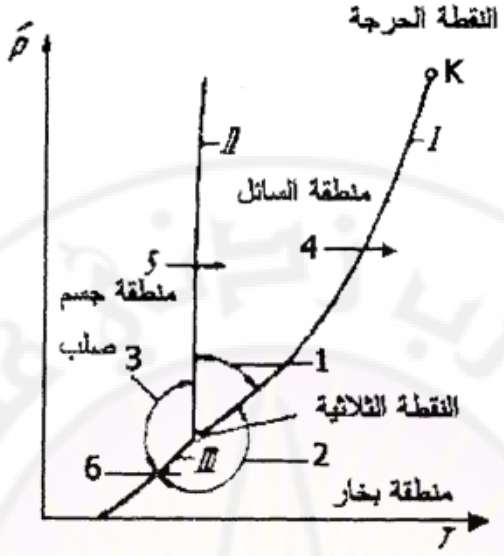
العلاقة ما بين درجة الحرارة والضغط في عملية التحول من سائل إلى بخار يمثلها المنحني I على الشكل (2 - 1) إذ تحدد لنا نقاط هذا المنحني حالة التوازن لكل من البخار والسائل معا.

تمثل النقاط الواقعة على يسار المنحني I الطور السائل أما النقاط الواقعة على يمينه فتمثل الطور الغازي وأعلى نقطة من هذا المنحنى تمثل النقطة الحرجة.

يستفاد من حادثة غليان السائل بشكل واسع في دورات التبريد مع التنويه إلى أن الاستفادة من هذه الحادثة تتعلق بوضع الجسم بالنسبة للنقطة الحرجة حيث إن التبخر يزداد كلما ابتعدنا عن النقطة الحرجة .

يمثل المنحنيان II , III كلاً من حالتي التوازن للسائل مع الحالة الصلبة والتوازن بين الجسم الصلب والحالة الغازية على التوالي.

النقطة الثلاثية تمثل حالة التوازن مابين الأطوار الثلاثة الموجودة : الصلب، السائل، الغاز، يتحدد خط التصعيد (الانتقال من الحالة الصلبة إلى الغازية مباشرة) III بدرجة الصفر



الشكل (2 - 1) مخطط توازن الأطوار

المطلق 0^0K المتوافقة مع الضغط صفر من جهة والنقطة الثلاثية من جهة أخرى والتي تختلف بارامتراتها من مادة إلى أخرى فالنسبة لغاز الفحم تتحدد بارامترات النقطة الثلاثية عند درجة الحرارة (0.0098 °C) وضغط (0.00623 at) . تساوي حرارة التصعيد is مجموع حرارتي الذوبان λ والتبخر r أي :

$$is = \lambda + r \qquad (1\text{-}2)$$

في الحالات العملية لا تستعمل ظاهرة التصعيد في عمليات التبريد باستثناء الجليد الجاف لغاز الفحم حيث تبلغ قيمة التأثير التبريدي له عند ضغط جوي عادي ودرجة حرارة -78.9 °C ، (137 Kcal/Kg) مع الإشارة إلى أنه عند حدوث عملية التصعيد بضغط أخفض من الضغط الجوي يمكننا الحصول على درجة حرارة تصعيد تصل إلى (-100 °C).

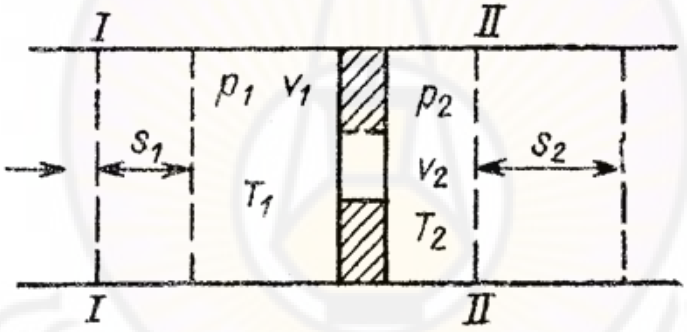
2 - 4 - 1 عملية الخنق : Throttling Process

تتم عملية الخنق بتخفيض ضغط الغاز أو السائل أثناء مروره في تضيقات مثل الصمامات المفتوحة فتحة صغيرة وما شابهها، تتم عملية الخنق بدون إنجاز عمل خارجي إذ

تنخفض قيمة الضغط بسرعة بشكل يمكن معه عدّ أن العملية تتم بدون تبادل حراري مع الوسط الخارجي (إجراء أدياباتي).

وفي معظم الحالات يكون الخنق المقترن بضياع قدرة الجسم العامل على إنجاز العمل ضاراً دون شك. غير أنه يكون ضرورياً في بعض الأحيان ويتم إحداثه اصطناعياً، على سبيل المثال عند تعيير المحركات البخارية وفي وحدات التبريد والأجهزة التي تقيس استهلاك الغاز ..... الخ.

فعند مرور الغاز عبر فتحة أضيق تزداد طاقته الحركية وسرعته في المقطع الضيق، ويؤدي ذلك إلى انخفاض الضغط وتغير درجة الحرارة (الشكل 3 - 1) . بمرور الغاز عبر الفتحة نضطر إلى صرف جزء من طاقته الحركية للتغلب على قوى الاحتكاك وتتحول إلى حرارة، وبالتالي تتغير درجة حرارته فقد تكبر أو تصغر.



الشكل (3 - 1) إجراء خنق الغاز

وتزداد سرعة الغاز في الفتحة، ثم يعود الغاز إلى تدفقه في المقطع الكامل للأنبوب، فتنقص سرعته ويزداد ضغطه لكن دون أن يبلغ قيمته الأولية. وعليه فالسرعة تتغير نوعا ما نتيجة لازدياد الحجم النوعي للغاز بسبب نقصان الضغط.

لتكن كتلة المادة العاملة المحصورة باللحظة نفسها بين المقطعين I-I قبل التضيق و II-II بعد التضيق هي G وتتحرك على طول الأنبوب. نرمز لمساحة المقطع بـ F والضغط والحجم النوعي ودرجة الحرارة قبل التضيق وبعده بالتتالي على النحو التالي: P_2 , p_1 , v_1 , T_1 ; v_2 , T_2 .

بعد برهة من الزمن فإن المقطع I-I ينتقل إلى مسافة S_1 والمقطع II-II ينتقل إلى مسافة S_2 ، وذلك لأن الضغط والكثافة للمادة العاملة خلف التضيق أقل منه أمام التضيق، أي أن $S_2 > S_1$.

من أجل انتقال المقطع I-I إلى مسافة S_1 من الضروري بذل عمل يساوي

$$W_1 = p_1.s_1.F \qquad (1\text{-}3)$$

ولكن بما أن : $V_1 = S_1 . F$ حيث: V_1 – حجم المادة العاملة المارة في المقطع I - I - خلال الفترة المحددة من الزمن، وكما أن $V_1 = v_1 . G$ إذ G كتلة المادة المارة عبر التضيق ،لذا فإن العمل يساوي:

$$W_1 = p_1.v_1.G \qquad (1\text{-}4)$$

وبشكل مشابه يمكن إيجاد العمل الناتج عن تحرك المقطع II-II ضد الضغط p_2

$$W_2 = p_2.v_2.G \qquad (1\text{-}5)$$

عند انتقال المادة العاملة المدروسة ذات الكتلة G خلال فترة الزمن المحدودة ينجز عمل يساوي الفرق بين العمل W_2 الذي ينجزه المقطع II-II والعمل W_1 المؤثر في المقطع I-I.

$$W = W_2 - W_1 = p_2.v_2.G - p_1.v_1.G = G(p_2.v_2 - p_1.v_1) \qquad (1\text{-}6)$$

هذا العمل (عمل الدفع أو التمرير) يصرف للتغلب على المقاومة ويتحول إلى حرارة تتلقاها المادة العاملة نفسها.

في عملية الخنق الأدياباتية فإن العمل يمكن أن ينتج فقط على حساب انخفاض الطاقة الداخلية للنظام. وبالتالي :

$$W = (u_1 - u_2)G \qquad (1\text{-}7)$$

حيث u_1 و u_2 هما بالتتالي الطاقة الداخلية للمادة قبل وبعد التضيق.

بمساواة العلاقتين (1-6) و (1-7) نحصل على ما يلي :

$$u_1 + p_1v_1 = u_2 + p_2v_2$$

أو

$$i_1 = i_2 \qquad (1\text{-}8)$$

بهذا الشكل نجد أنه نتيجة الخنق الأدياباتي فإن قيمة إنتالبي المادة العاملة قبل وبعد التضيق تبقى نفسها.

لندرس الآن كيف تتغير درجة الحرارة للمادة العاملة عند الخنق.

من التحليل الرياضي معروف أن :

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x.\partial y}=\frac{\partial^2 z}{\partial y.\partial x} \qquad (1\text{-}9)$$

أي أن قيمة المشتق المختلط لا تتعلق بتسلسلية التفاضل. لنعالج هذه العلاقة من أجل حالة z=const ، أي dz=0 ، عندئذ :

$$(\frac{\partial z}{\partial x})_y dx+(\frac{\partial z}{\partial y})_x dy=0$$

$$(\frac{\partial z}{\partial x})_y+(\frac{\partial z}{\partial y})_x\cdot(\frac{\partial y}{\partial x})_z=0$$

ومنه

$$(\frac{\partial z}{\partial y})_x\cdot(\frac{\partial y}{\partial x})_z=-(\frac{\partial z}{\partial x})_y \qquad (1\text{-}10)$$

$$(\frac{\partial z}{\partial y})_x\cdot(\frac{\partial y}{\partial x})_z\cdot(\frac{\partial x}{\partial z})_y=-1$$

من البديهي أنه لقيمة ما $z=f(y,x)$ يمكن دراسة القيم $x=f(y,z)$ ، $y=f(x,z)$ أي أن المعادلة (1-10) في الوقت نفسه تربط بين قيم كل المشتقات الممكنة لهذه التوابع الثلاثة.

من المعادلة (1-10) ومن أجل القيم i , P , T نحصل على :

$$(\frac{\partial T}{\partial P})_i(\frac{\partial P}{\partial i})_T(\frac{\partial i}{\partial T})_P=-1 \qquad (1\text{-}11)$$

ومن علم الترموديناميك معلوم لدينا أن :

$$(\frac{\partial i}{\partial T})_P=C_P \quad ; \quad (\frac{\partial i}{\partial P})_T=v-T(\frac{\partial v}{\partial T})_P$$

عندئذ من المعادلة (1-11) ينتج لدينا :

$$(\frac{\partial T}{\partial P})_i=\frac{T(\partial v/\partial T)_P-v}{C_P} \qquad (1\text{-}12)$$

يسمى المقدار $(\frac{\partial T}{\partial P})_i$ معامل الخنق الأدياباتي أو الأثر التفاضلي للخنق ويرمز له بـــ α_i أي أن :

$$\alpha_i = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_i \qquad (1\text{-}13)$$

إن ظاهرة تغير درجة حرارة المادة العاملة في إجراء الخنق تسمى فعالية جول ــ تومسون وكثيرا ما يطلق اسم معامل جول ــ تومسون على α_i ، عند قيمة محسوسة لانخفاض الضغط يمكن كتابة العلاقة التالية :

$$(T_2 - T_1) = \int_{P1}^{P2} \alpha_i . dp \qquad (1\text{-}14)$$

إذ : T_2 , T_1 ــ درجتا حرارة المادة العاملة قبل الخنق وبعده.

تحليل المعادلة (1-12) يبين أن إشارة معامل الخنق تحدد بالقيمة $T(\partial v/\partial T)_P - v$ [ ] لأن $C_P > 0$ دائما.

إذا كان $(\frac{\partial v}{\partial T})_P < \frac{v}{T}$ ، فإن $\alpha_i < 0$ وعندئذ يكون :

$$T_2 - T_1 = \int_{P1}^{P2} \alpha_i . dp = -\alpha_i (P_1 - P_2) > 0$$

هذا يعني أن درجة حرارة المادة العاملة بعد الخنق ترتفع.

في الحالة عندما يكون $(\frac{\partial v}{\partial T})_P > \frac{v}{T}$ أي $\alpha_i > 0$ و $T_2\text{-}T_1 < 0$ هذا يعني أن درجة حرارة المادة العاملة بعد الخنق تنخفض.

إذا كان $(\frac{\partial v}{\partial T})_P = \frac{v}{T}$ أي أن $\alpha_i = 0$ و $T_2\text{-}T_1 = 0$ هذا يعني أن درجة حرارة المادة العاملة أثناء عملية الخنق لا تتغير. كما هو الحال بالنسبة للغاز المثالي من المعروف أن $P.v = R.T$ ومنه $(\frac{\partial v}{\partial T})_P = \frac{R}{P} = \frac{v}{T}$ عندئذ $\alpha_i = 0$ وهذا يعني أن الغاز المثالي يتم خنقه دون تغير درجة الحرارة.

بالنسبة للمادة العاملة فإن إشارة α_i يمكن أن تكون مختلفة في مجالات مختلفة من التمثيل البياني للحالة.

إن حالة المادة العاملة التي عندها $\alpha_i = 0$ تسمى منحني الانقلاب.

المحل الهندسي لنقاط الانقلاب على المخطط تسمى منحني الانقلاب.

إن عملية الخنق هي عملية غير عكوسة، لأنه لو افترضنا أن العملية تجري بالعكس أي بعكس الاتجاه (مثلاً في الأنبوب الموضح على الشكل ١-٣ يتغير اتجاه حركة التيار بالعكس)، فإن العملية كما ورد سابقا ستكون مصحوبة بانخفاض الضغط. طالما أن عملية الخنق غير عكوسة، فإن إنتروبي المادة العاملة يزداد عند الخنق. تغير الإنتروبي يمكن أن يحدد من استعمال العلاقة التالية :

$$s_2(i,P_2) - s_1(i,P_1) = \int_{P1}^{P2} (\frac{\partial s}{\partial P})_i .dp \qquad (1\text{-}15)$$

حيث : $(\frac{\partial S}{\partial P})_i = -\frac{V}{T}$ وذلك معروف من علم الترموديناميك.

عندئذ :

$$s_2(i,P_2) - s_1(i,P_1) = -\int_{P1}^{P2} (\frac{V}{T})_i .dp$$

أو

$$s_2(i,P_2) - s_1(i,P_1) = \int_{P2}^{P1} (\frac{V}{T}) .dp \qquad (1\text{-}16)$$

من المعادلة (1-16) نرى أنه دائما $s_2 > s_1$.

3 - 4 - 1 عملية التمدد مع الحصول على عمل خارجي :

عند تمدد المادة العاملة من الضغط P_1 حتى الضغط P_2 (الشكل 4 - 1) فإننا نحصل على عمل خارجي إذا تم هذا الإجراء في أسطوانة ناشرة (الإجراء a-b) .

في هذه الحالة ينجز العمل على حساب تغير إنتالبي المادة العاملة الممددة غالبا تستخدم النواشير (المممددات) المحورية والمركزية، كما يمكن استخدم آلات تمدد أخرى مثل المكبسية أو اللولبية.

لندرس كيف تتغير بارامترات المادة العاملة التي تصف عملية التمدد مع الحصول على عمل خارجي.

إذا تم التمدد مع إنجاز عمل خارجي دون ضياع ودون تبادل حراري مع الوسط المحيط، فإن إنتروبي المادة العاملة لا تتغير، هذا يعني أن عملية التمدد تتم عند ثبوت الإنتروبي $ds = 0$. والعمل الحاصل من المادة العاملة عند التمدد (a-b) يطرح من المجموعة، لأن هذا العمل يتم على حساب طاقة المادة العاملة، وهذا يعني أن درجة الحرارة في عملية التمدد دائما تنخفض.

انخفاض درجة الحرارة يحدد بالمشتق التالي : $(\frac{\partial T}{\partial P})_S$، والذي يمكن أن يسمى معامل الأديبات العكوسي (الإيزونتروبي) للتمدد .وبشكل مشابه لـ α_i نرمز له بـ α_S .

باستخدام العلاقة (1-10) بالنسبة لقيم s , P , T نحصل على :

$$(\frac{\partial T}{\partial P})_S(\frac{\partial P}{\partial s})_T(\frac{\partial s}{\partial T})_P = -1 \qquad (1\text{-}17)$$

بأخذ معادلة ماكسويل بالحسبان $(\frac{\partial v}{\partial T})_P = -(\frac{\partial s}{\partial P})_T$ وعلاقة الحرارة النوعية

$Cp = T(\frac{\partial S}{\partial T})_P$ يمكن أن نحصل من المعادلة (1-17) على :

$$\alpha_S = T(\frac{\partial v}{\partial T})_P / Cp \qquad (1\text{-}18)$$

وفقا للمعادلة (1-12) فإن معامل الخنق يكون :

$$\alpha_i = [T(\frac{\partial v}{\partial T})_P - v] / Cp$$

من المعادلتين (1-12) و (1-18) نحصل على :

$$\alpha_S - \alpha_i = \frac{v}{Cp} \qquad (1\text{-}19)$$

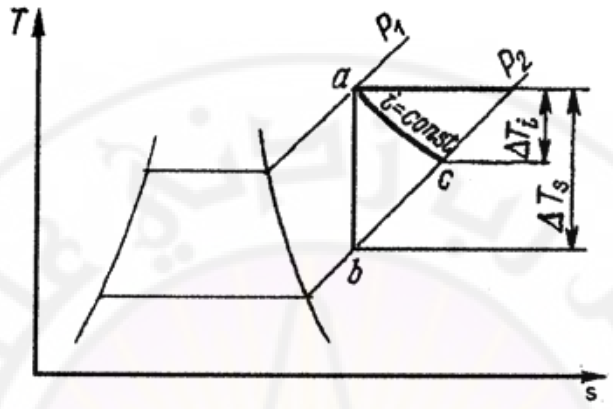
طالما أن v و C_P دائما موجبتان، فوفقاً للمعادلة (1-19) يكون :

$$\alpha_s > \alpha_i \qquad (1\text{-}20)$$

بهذا الشكل فإن عملية التمدد الأديباتي مع الحصول على عمل خارجي يكون أكثر فعالية ترموديناميكيا من عملية الخنق الأديباتي، وهذا يمكن مشاهدته من التمثيل البياني على محاور (T-S) الشكل (١-٤) إذ العملية (a-b) تمثل التمدد الأديباتي بثبات الانتروبي مع الحصول

على عمل خارجي والعملية (a-c) تمثل الخنق بثبات الانتالبي وبالتالي يتبين أن :

$\Delta T_S > \Delta T_i$



الشكل (4 - 1)إجراءا الخنق والتمدد الأديباتي مع الحصول على عمل خارجي على المخطط T,s

4 - 4 - 1 - الظاهرة الإعصارية : Vortex Effect

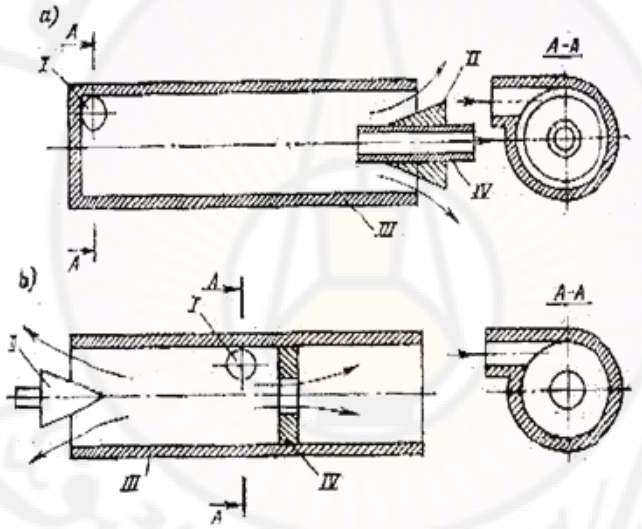
تم اكتشاف هذه الظاهرة عام ١٩٣٣ على يد المهندس الفرنسي رانك الذي أثبت آنذاك وجود اختلاف بين درجتي حرارة تياري الهواء المتحركين وفق محور الأنبوب ومحيطيا بشكل حلزوني.

يتلخص عمل هذه الظاهرة على النحو التالي (أنظر الشكل 5 - 1) :

يرسل الغاز المضغوط عند درجة حرارة الوسط المحيط إلى أنبوبة أسطوانية III من خلال ثقب I بشكل مماس للسطح الداخلي للأنبوب. الغاز الداخل يقوم بحركة دورانية التفافية وفي الوقت نفسه ينتقل من الفوهةI إلى الخانق II ومن خلال ثقب (أو أنبوبة ذات قطر أصغر) IV يخرج الهواء البارد، وعند الخانق II على محيط الأنبوب يخرج الهواء الساخن.

عندما يكون ضغط الغاز من (0.3 ÷ 0.5 Mpa) فإن درجة حرارة الغاز البارد تكون أخفض بمقدار (30 ÷ 70 °C) من درجة الحرارة البدائية للغاز.

إن الحصول على البرودة في الأنبوبة الإعصارية بطريقة التمدد اللاعكوس للغاز يحتم ضياعات كبيرة في الطاقة. وبإجراء مقارنة من ناحية الفعالية التبريدية بالنسبة للظاهرة الإعصارية من جهة وعملية التمدد الأديباتي مع الحصول على عمل خارجي من جهة ثانية يتبين لنا أن مردود الظاهرة الإعصارية أخفض ولكن يمتاز هذا النوع من التبريد ببساطة الجهاز إذ يمكن استخدامه بشكل محدود في أعمال تكييف الهواء عند وجود فائض من الهواء المضغوط. ويمكن استخدام الأنبوبة الإعصارية على نطاق واسع في المخابر والمؤسسات الصناعية عند الحاجة إلى إنتاجية تبريدية صغيرة دون الحاجة إلى استخدام آلات التبريد ذات الكلفة العالية والمعقدة.



الشكل (5 - 1) الأنبوبة الإعصارية

a- نموذج مباشر. b- نموذج متعاكس.

5 - 4 - 1 فعالية بالت (الكهرحرارية) : Balts Effect

تستخدم في العمليات التقنية على نطاق واسع القوة المحركة الكهرحرارية في النواقل الملحومة، عندما يوجد في نقاط اللحام درجات مختلفة للحرارة (ظاهرة زيبيك). تتناسب القوة المحركة الكهربائية المتولدة E مع فرق درجتي حرارة الطرفين البارد والساخن وفق العلاقة:

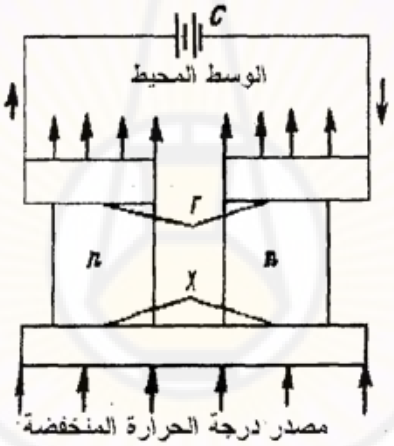
$$E = \alpha (T_r - T_x) \qquad (1\text{-}22)$$

إذ : T_r , T_x ــ بالتتالي درجتي حرارة الطرفين الساخن والبارد ،

α ــ معامل القوة المحركة الكيرحرارية وتتحدد قيمته عندما يكون فرق درجات الحرارة بين النهايتين درجة مئوية واحدة وهي عادة تتبع لمادة الموصلين.

في عام ١٩٣٤ اكتشف العالم بالت أنه إذا مررنا تياراً كهربائياً شدته I عبر سلسلة مؤلفة من موصلين كهربائيين مختلفين ينتج عن ذلك انخفاض في درجة حارة أحد طرفي الاتصال وارتفاع في درجة حرارة الطرف الآخر وهكذا نرى أن ظاهرتي زيبك وبالت مرتبطتان ببعضهما ولكن بشكل معاكس إحداهما للأخرى.

الشكل (6 - 1) يبين مخطط عنصر بالت الحراري. اثنين من أنصاف النواقل n و m يشكلان حلقة بالت، التي يمر فيها تيار كهربائي مستمر من مصدر التغذية C .



الشكل (6 - 1) مخطط عنصر بالت الحراري.

إذا كانت درجة الحرارة على نقاط الاتصال الباردة T_x أخفض من درجة حرارة مصدر الحرارة المنخفضة، ودرجة حرارة النقاط الساخنة للاتصال T_r أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط، عندئذ فإن العنصر الحراري سوف يقوم بوظيفة آلة التبريد، وبفعالية ينقل الحرارة من المصدر ذي درجة الحرارة المنخفضة إلى الوسط المحيط.

إن انخفاض درجة حرارة نقطة الالتحام تتم في تلك الحالة التي عندها تحت تأثير الحقل الكهربائي تتحرك الإلكترونات من أحد جزأي العنصر الحراري إلى حالة جديدة بطاقة أكبر. عند ذلك فإن ارتفاع طاقة الإلكترونات يتم على حساب الطاقة الحركية المستمدة من ذرات

جزأي العنصر الحراري في أماكن اتصالهما. وعند الاتجاه المعاكس لحركة الإلكترونات وانتقالها إلى مستوى أكثر انخفاض للطاقة فإنها تعطي الطاقة الزائدة إلى ذرات الشبكة البلورية مسخنة بذلك نقطة التحام العنصر الحراري.

إن بساطة المخطط وغياب الأجزاء المتحركة والضجيج تجعل ظاهرة بلت الحراري ذات آفاق مستقبلية هامة لتوليد البرودة.

يمكن استخدام آلة التبريد هذه في البراد المنزلي وفي مكيفات الهواء، كما يمكن استخدام هذه الدارة للتدفئة أيضا وذلك بتغيير التيار الكهربائي فقط وفي هذه الحالة فإن مصروف القدرة الكهربائية اللازمة للتدفئة أقل منه عند استعمال سخان كهربائي.

الفصل الثاني

الأسس الترموديناميكية لآلات التبريد

Basic Thermodynamics of Refrigeration Machines

يسهم الوسيط التبريدي في عمليات ترموديناميكية مختلفة في وحدات آلات التبريد، وتتعلق فعالية آلات التبريد بكيفية أداء هذه العمليات.

إن مهمة التحليل الترموديناميكي المرتكزة على قانوني الترموديناميك الأول والثاني تكمن في إيضاح الفعالية الحدية الممكنة لدورات آلات التبريد والإشارة إلى عناصر هذه الآلات التي إذا ما حُسِّنت تؤثر أكثر من غيرها في زيادة الفعالية العامة.

إن للوسط المحيط أهمية كبيرة في النظرية الترموديناميكية لآلات التبريد. يتصف الوسط المحيط بأن بارامتراته لا تتعلق بعمل آلة التبريد (المجموعة)، وهذا يعني بأن الوسط المحيط يجب أن يكون كبير لدرجة بحيث أي تأثير لمجموعة التبريد فيه يؤدي إلى تغير بسيط جداً لدرجة يمكن إهماله.

الوسط المحيط يمكن أن يكون الهواء، مياه البحيرات والأنهار والبحار، والفضاء.

الشرط الثاني الذي يجب أن يلبيه الوسط المحيط هو أن جميع مكوناته يجب أن توجد في توازن ترموديناميكي تام، إلا أن هذا الشرط غير محقق لأنه في الوسط المحيط تتغير درجة الحرارة والضغط. ولكن عند حل معظم المسائل الترموديناميكية يمكن إهمال هذا التغير.

1 - 2 – تصنيف الدورات العكسية :

Classification of Reversed Cycles

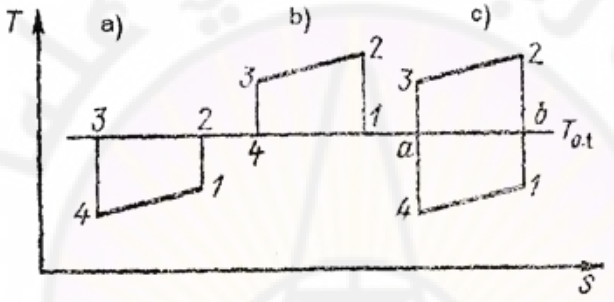
تقوم المادة العاملة في آلة التبريد بدورة عكسية على حساب الطاقة الميكانيكية أو غيرها في ظروف مختلفة. وثمة ثلاثة أنواع من الدورات العكسية:

آ- دورة التبريد.

ب- دورة المضخة الحرارية.

جـ- الدورة المشتركة.

آلة التبريد العاملة وفق دورة تبريدية Refrigeration Cycle : مهمة هذه الآلة تبريد أي وسط أو الحفاظ على درجة حرارة منخفضة في المكان المبرّد. إن مثل هذه الدورة موضحة على الشكل (2.1,a). في الإجراء (1-4) تكتسب المادة العاملة من مصدر الحرارة الأدنى كمية من الحرارة q_o، في الإجراء (2-1) يتم إنضغاط المادة العاملة ، في الإجراء (2-3) يتم طرح حرارة q من المادة العاملة إلى الوسط المحيط في الإجراء (3-4) تتمدد المادة العاملة مع أداء عمل w_p.



الشكل (2.1) : الدورات العكسية في مخطط T-s

a ــ التبريدية. B ــ المضخة الحرارية. c ــ المشتركة.

وفقاً لقانون الترموديناميك الثاني فإن الحرارة المطروحة إلى الوسط المحيط أكبر من الحرارة التي يفقدها المصدر الأدنى بمقدار قيمة عمل الدورة.

أي : $$q - q_o = w \qquad (2\text{-}1)$$

العمل اللازم لأداء الدورة العكسية يساوي :

$$w = w_c - w_b \qquad (2\text{-}2)$$

حيث : w_c – عمل الانضغاط. w_p – العمل المستفاد في الممدد

إن الفعالية الترموديناميكية لدورة التبريد يعبر عنها بما يسمى بمعامل التبريد ε :

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w} \qquad (2\text{-}3)$$

آلة التبريد العاملة وفق دورة المضخة الحرارية : Heat Pump Cycle

إذا تم نقل الحرارة من الوسط المحيط إلى المصدر الحراري الأعلى ذي درجة الحرارة T_c، في هذه الحالة تستخدم آلة التبريد لأغراض التدفئة. هذه الطريقة من التدفئة تسمى أحياناً (التدفئة الديناميكية).

إن دورة المضخة الحرارية موضحة على الشكل (2.1,b). في الإجراء (4-1) تعطى الحرارة إلى المادة العاملة من الوسط المحيط، وعند انضغاط المادة العاملة (الإجراء 2-1) يزداد إنتالبيها ودرجة حرارتها نتيجة العمل المصروف، في الإجراء (2-3) المادة العاملة تطرح حرارة q إلى المصدر الحراري الأعلى (ماء أو هواء) والذي يستخدم لتدفئة الغرف أو لأغراض تقنية أخرى. في الإجراء (4-3) تتمدد المادة العاملة وتنجز عند ذلك عمل w_p.

تتحدد الفعالية الترموديناميكية للمضخة الحرارية بمعامل التدفئة μ .

أي : $$\mu = \frac{q}{w} \qquad (2\text{-}4)$$

يوجد بين معاملي التبريد والتدفئة الترابط التالي :

$$\mu = \frac{q}{w} = (\frac{q_o + w}{w}) = \varepsilon + 1 \qquad (2\text{-}5)$$

الدورة المشتركة : Combined Cycle دورة آلة التبريد التي يتم فيها نقل الحرارة من المصدر الحراري الأدنى إلى المصدر الحراري الأعلى تسمى الدورة المشتركة. إن مثل هذه الدورة موضحة على الشكل (2.1,c)، حيث الإجراء (4-1) يمثل إعطاء الحرارة q_o إلى المادة العاملة، أما في الإجراء (2-1) يتم انضغاط المادة العاملة، وفي الإجراء (2-3) تطرح الحرارة q من المادة العاملة إلى المصدر الحراري الأعلى، وبعد ذلك تتمدد المادة العاملة في الإجراء (4-3) مع إنجاز عمل.

باستخدام الدورة المشتركة نحصل في الوقت نفسه على البرودة والحرارة، ولذلك توصف بمعاملين ε و μ .

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w_r} \quad , \quad \mu = \frac{q}{w_h}$$

إذ : w_r و w_h ـــ بالتتالي عملا الدورتين (1-b-a-4-1) و (b-2-3-a-b) .

2 - 2 – قانون الترموديناميك الثاني: Second Law of Thermodynamic

اللاعكوسية داخلاً وخارجاً: Internal &external Irreversibility

صاغ كلاوزيوس قانون الترموديناميك الثاني بالشكل التالي : (لا يمكن للحرارة، أن تنتقل من مادة ذات درجة حرارة منخفضة إلى مادة ذات درجة حرارة أعلى من تلقاء نفسها أو بدون صرف طاقة).

وتتضح من هذه الصيغة ضرورة صرف عمل من أجل نقل الحرارة من المادة الباردة إلى الدافئة (من المصدر الأدنى إلى الوسط المحيط أو إلى المصدر الحراري الأعلى)، هذا يعني أنه لإنجاز دورة عكسية كاملة من الضروري توفر مصدري حرارة – مصدر أدنى ومصدر أعلى (الوسط المحيط) وعند ذلك من الضروري صرف عمل (أو حرارة).

على قانون الترموديناميك الثاني ترتكز النظرية الترموديناميكية لآلات التبريد. ومفهوم عكوسية العمليات ذات معنى أساسي ليس في الفيزياء فحسب بل في نظرية آلات التبريد أيضاً.

تسمى *العملية عكوسة* Reversible Process: عند إمكان عودة جميع عناصر الجملة المشاركة في العملية بعد إنجازها إلى الوضع الأولي مروراً بالحالات نفسها التي مرت بها هذه العناصر أثناء مشوار الذهاب ولكن بترتيب عكسي.

أما العمليات اللاعكوسة Irreversible Process: فهي العمليات التي لا تلبي هذه الشروط.

إن مصدر اللاعكوسية في آلات التبريد هو الاحتكاك الداخلي لجزيئات المادة العاملة، الاحتكاك في أجزاء الآلات، الخنق، الانتشار، انتقال الحرارة الحاصل عند فرق ملموس لدرجات الحرارة، التحولات الطورية غير المتوازنة، اختلاط مركبات مختلفة ....الخ.

إن تقسيم اللاعكوسية إلى داخلية وخارجية تعد مسألة مهمة. وإن مثل هذا التقسيم يساعد بشكل صحيح على تحديد مصادر الضياعات اللاعكوسة في الدورات ويعطي إمكان البحث عن طرائق تلافيها.

العمليات العكوسة داخلاً : Internal Irreversible Process تعرف العمليات العكوسة داخلاً (بدقة كافية للأغراض الهندسية) بأنها العمليات التي يتم فيها مراعاة شروط التوازن

داخل الجسم، غياب الاحتكاك الداخلي والانتشار، وعدم حدوث الاختلاطات والتفاعل الكيميائي.

وفي الحالة عندما تتحقق شروط التوازن بين المادة العاملة والأجسام الخارجية (الوسط المحيط) الموجودة معها بتأثير متبادل تسمى *العملية العكوسة خارجاً* (External Irreversible Process) .

ومن الواضح إمكان وجود توافقيات عمليات عكوسة وغير عكوسة داخلاً وخارجاً، ويمكن تصنيفها بالشكل التالي :

١. عمليات عكوسة بالكامل سواء داخلياً أم خارجاً.

٢. عمليات عكوسة خارجاً لكن غير عكوسة داخلاً.

٣. عمليات غير عكوسة خارجاً ولكن عكوسة داخلاً.

٤. عمليات غير عكوسة خارجاً ولاداخلاً.

إن كل العمليات الحاصلة في آلات التبريد بدون استثناء والتي تشكل عمليات حلقة عكسية تنتمي إلى المجموعة الرابعة.

يمكن أن تمثل العمليات العكوسة في المخططات الترموديناميكية ،المساحات الواقعة تحت المنحنيات التي تمثل هذه العمليات في مخططي (P-v) و (T-s) تعبر بالتتالي عن العمل وكمية الحرارة.

3 - 2 – الضياعات اللاعكوسة للدورات العكسية:

Irreversible Losses of Reversed Cycles

لتحديد قيم الضياعات اللاعكوسة للعمليات (الاجراءات) في الدورات العكسية تستخدم معادلة (هوا-ستودولا). على أساس قانوني الترموديناميك الأول والثاني للدورات العكسية تأخذ معادلة (هوا-ستودولا) الشكل التالي :

$$\Delta w = T_{o.t} \Sigma \Delta s \qquad (2\text{-}6)$$

إذ : Δw – الازدياد في عمل الدورة الذي تستدعيه لاعكوسة العمليات.

$T_{o.t}$ – درجة حرارة الوسط المحيط.

$\sum \Delta s$ – مجموع تغيرات الإنتروبي لكل الأجسام المشاركة في العمليات.

بما أن الإنتروبي تابع لحالة الجسم فإنه في الدورة العكسية المغلقة المنجزة بمساعدة المادة العاملة يأخذ الإنتروبي قيمة أولية وتغير الإنتروبي سيساوي الصفر. وبالتالي يفهم من ($\sum \Delta s$) عند إنجاز دورة عكسية بأنه تغير إنتروبي المصادر.

إن استخدام معادلة (هوا–ستودولا) عند تقييم الضياعات المرتبطة باللاعكوسية لآلة التبريد ممكن فقط في حالة مقارنة الدورة اللاعكوسة بالدورة العكوسة (داخلاً وخارجاً)، والتي لها الإنتاجية التبريدية نفسها (كمية الحرارة التي تتلقاها المادة العاملة من المصدر).

إن هذه الدورات العكوسة غالباً تسمى الدورات ذات العمل الأصغري – الدورات النموذجية.

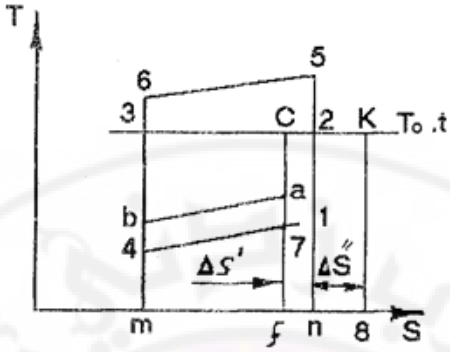
بالنسبة للعمليات الجارية في المضخة الحرارية تكون معادلة (هوا–ستودولا) صحيحة في حالة مقارنة الدورات التي تعطي الكمية الحرارية نفسها.

الضياعات اللاعكوسة الأساسية في الدورات العكسية هي الضياعات المرتبطة بالتبادل الحراري للمادة العاملة مع المصدر الحراري الأدنى والوسط المحيط، والضياعات المرتبطة بخنق المادة العاملة.

لتبسيط المناقشة سنقوم بتحديد ضياعات اللاعكوسية بالتجزيء، وبالتالي يتم جمع كل هذه الضياعات وتحديد الأداء الترموديناميكي للدورة – معامل العكوسة η_{rev} .لنفرض أنه من الضروري تبريد مصدر أدنى ما من الحالة a إلى الحالة b (الشكل 2 - 2). إن هذا ممكن بمساعدة آلة التبريد التي تعمل وفق الدورة (1-4-3-2-1) . في هذه الدورة تطرح الحرارة من المادة العاملة إلى الوسط المحيط في العملية (3-2) عند فرق درجات حرارة لانهائي في الصغر.

تجري عمليتا انضغاط وتمدد المادة العاملة عند s=const بالتتالي وفق (2-1) و (4-3)، وبالتالي فهما إجراءان عكوسان.

بهذا الشكل توجد عملية واحدة لاعكوسة وهي عملية إعطاء الحرارة للمادة العاملة عند فرق نهائي لدرجات الحرارة وفق العملية (1-4). الإجراء (a-b) موضح على مخطط T-s شرطياً. ولا يجوز استخدام خواص مخطط T-s لها ما لم يتوافر شرط إضافي له هو العكوسية داخلاً.



الشكل (2-2) الدورات العكسية عند فرق درجات حرارة نهائي ممثلة في مخطط T-s

الدورة (1-4-3-2-1) ترسم بحيث تكون الإنتاجية التبريدية q_o مساوية كمية الحرارة المعطاة من المصدر الحراري الأدنى، أي أن :

المساحة (m - b - a - f - m) = المساحة (m - 4 - 1 - n - m) (2-7)

من علم الترموديناميك معروف أن عمل الدورة (1-4-3-2-1) يكافئ المساحة (1-2-3-4-1) . لنقارن عمل الدروة (1-4-3-2-1) التي تحوي عملية لاعكوسة وهي إعطاء الحرارة للمادة العاملة من المصدر الحراري الأدنى، مع الدورة العكوسة (الدورة ذات العمل الأصغري). إن مثل هذه الدورة العكوسة بالنسبة للمصدرين المحددين هي الدورة (a-c-3-b-a). بالفعل فإن التبادل الحراري في هذه الدورة بين المادة العاملة والوسط المحيط يتم عند فرق درجات حرارة لانهائي في الصغر، عمليتا الانضغاط والتمدد (a-c) و (3-b) عكوستان (تتمان عند s=const). أي أن هذه الدورة عكوسة داخلاً وخارجاً.

الإنتاجية التبريدية النوعية للدورة النموذجية (a-c-3-b-a) والدورة قيد الدرس (1-2-3-4-1) متساوية فيما بينها حسب شروط إنشاء الدورة (1-4-3-2-1)، انظر المساواة (2-7) .

إن عمل الدورة انموذجية w_{min} يكافئ المساحة (a-c-3-b-a)، وبهذا الشكل فإن الازدياد بالعمل $\Delta w'$ المقترن بالإجراء اللاعكوس للتبادل الحراري، يساوي:

$\Delta w' = w_{1-2-3-4} - w_{min}$ ~ المساحة (1-2-3-4-1) − المساحة (a-c-3-b-a) (2-8)

أو $\Delta w'$ يكافئ المساحة (1-2-c-a-b-4-1) .

بما أن المساحة (m-b-a-f-m) تساوي المساحة (m-4-1-n-m) لذا فإن المساحة (4-b-a-7-4) تساوي المساحة (f-7-1-n-f) عندئذ :

$$\Delta w` \sim \text{(f-c-2-n-f) المساحة} = \Delta s` T_{o.t} \qquad (2\text{-}9)$$

بهذا الشكل فإن ازدياد العمل الناتج عن اللاعكوسية في عملية التبادل الحراري بين المصدر الأدنى والمادة العاملة يساوي إلى تغير إنتروبي المجموعة $\Delta s`$ مضروباً بدرجة حرارة الوسط المحيط $T_{o.t}$ .يحدد الإنتروبي $\Delta s`$ بالشكل التالي :

$$\Delta s` = \Delta s`_X - \Delta s`_L \qquad (2\text{-}10)$$

إذ : $\Delta s`_X$ – تغير إنتروبي المادة العاملة في الإجراء (4-1) .

$\Delta s`_L$ – تغير إنتروبي المصدر الحراري الأدنى في الإجراء (a - b).

$$\Delta s'_x = s_1 - s_4 = \int_4^1 c_x \left(\frac{dT}{T}\right) = c_x \ln \frac{T_1}{T_4} \qquad (2\text{-}11)$$

$$\Delta s'_L = s_b - s_a = \int_a^b c_L \left(\frac{dT}{T}\right) = -c_L \ln \frac{T_a}{T_b} \qquad (2\text{-}12)$$

هنا c_x و $-c_L$ بالتتالي الحرارة النوعية للمادة العاملة وللمصدر ونعدّهما ثابتتين.

الآن لنفترض أن عملية طرح الحرارة من المادة العاملة إلى الوسط المحيط تتم أيضاً عند فرق نهائي بدرجة الحرارة ودورة آلة التبريد ستكون (1-4-6-5-1)، أي أنه أصبحت لدينا لاعكوسية خارجية إضافية، هذه اللاعكوسية الإضافية زادت عمل الدورة بمقدار $\Delta w``$ والتي تكافئ المساحة (2-3-6-5-2).

لنحدد العمل الإضافي $\Delta w``$. كمية الحرارة المطروحة من المادة العاملة إلى الوسط المحيط تكافئ المساحة (m-6-5-n-m). ومن جهة أخرى فإن الوسط المحيط يكتسب الكمية نفسها من الحرارة والمكافئة للمساحة (m-3-k-8-m). النقطة k موضوعة بشكل تتحقق فيه المساواة التالية:

$$\text{المساحة (m-6-5-n-m)} = \text{المساحة (m-3-k-8-m)} \qquad (2\text{-}13)$$

عندئذ:

$$\text{المساحة (2-5-6-3-2)} = \text{المساحة (n-2-k-8-n)}$$

كما أن $\Delta S``T_{o.t} =$ المساحة (n-2-k-8-n)

وبالتالي:

$$\Delta w'' = \Delta s'' T_{o.t} \qquad (2\text{-}14)$$

تغير الإنتروبي $\Delta s''$ يتحدد بشكل مشابه لـ $\Delta s'$

$$\Delta s'' = \Delta s''_{o.t} - \Delta s''_{x} \qquad (2\text{-}15)$$

إذ: $\Delta s''_{o.t}$ – تغير إنتروبي الوسط المحيط

$\Delta s''_{x}$ – تغير إنتروبي المادة العاملة

$$\Delta s''_{x} = s_6 - s_5 = -\int_6^5 c_x \frac{dT}{T} = -c_x \ln \frac{T_5}{T_6}$$

$$\Delta s''_{ot} = \frac{i_5 - i_6}{t_{o.t}}$$

التغير العام للانتروبي من لقاء وجود فرق في درجات الحرارة في عمليتي التبادل الحراري بين المادة العاملة والمصدرين يساوي:

$$\Delta s = \Delta s' + \Delta s''$$

أما الازدياد العام للعمل هو:

$$\sum \Delta w = \Delta w' + \Delta w''$$

بهذا الشكل فان عمل الدورة (1-4-6-5-1) يمكن أن يكتب بالشكل التالي:

$$w \sim \text{المساحة } (1\text{-}5\text{-}6\text{-}4\text{-}1) \sim \text{المساحة } (a\text{-}c\text{-}3\text{-}b\text{-}a) + \sum \Delta w \qquad (2\text{-}16)$$

أو $w = w_{min} + \sum \Delta w$

درجة الأداء الترموديناميكي يعبر عنها بمعامل العكوسية η_{rev}:

$$\eta_{rev} = \frac{w_{min}}{w} = \frac{w_{min}}{w_{min} + \sum \Delta w} \qquad (2\text{-}17)$$

وهذا يعني أنه بازدياد الضياعات بسبب اللاعكوسية فإن معامل العكوسية ينخفض، وهذا يدل على انخفاض الفعالية الطاقية للدورة.

سوف نحدد هذه الضياعات في الدورة العكسية والمتعلقة بوجود لاعكوسية داخلية – خنق المادة العاملة.

الشكل (2-3) يبين دورة عكسية في مخطط (T-s) وفيها يتم تمدد المادة العاملة عند i = const (الإجراء 3-4) وهو إجراء لاعكوس. التبادل الحراري بين المادة العاملة ومصادرين يتم عند فرق درجات حرارة لانهائي في الصغر ، أي أنه عكوس. الانضغاط يتم عند s = const (الإجراء 1-2) وهو أيضاً عكوس.

عمل الدورة (1-4-3-2-1) يكافئ المساحة (1-0-3-2-1)، ويمكن البرهان على ذلك كالتالي:

لحالة الضواغط الأديباتية وجميع الآلات التوربينية (ضواغط وتوربينات) يتخذ قانون الترموديناميك الأول للغازات المتحركة الشكل التالي:

$$w_{tech} = i_1 - i_2$$

إذ w_{tech} (العمل التكنيكي) هو عمل الضاغط أو عمل التوربين. وحسب خواص مخطط T-s فإن الانتالبي يقاس بالمساحة تحت الإيزوبار بدءاً من النقطة الممثلة للحالة المراد معرفة انتالبيها، وعليه فإن i_1 (انظر الشكل 3-2) يقاس بالمساحة (1-8-7-0-1) و i_2 يقاس بالمساحة (2-8-7-3-2) مما يؤدي إلى كون عمل الضاغط سالباً (يستهلك طاقة ميكانيكية) وقيمته المطلقة تقاس بالمساحة (1-0-3-2-1). وبما أن عمل الدورة الحرارية يساوي مجموع أعمال العناصر المشاركة في الدورة، وحيث إن المبادلات الحرارية وصمام الخنق لا تستهلك ولا تنتج عملاً فإن عمل الدورة ككل يساوي عمل الضاغط.

الدورة النموذجية بالنسبة للدورة (1-4-3-2-1) هي الدورة (1-4-5-2-1)، والتي تعدّ عكوسة خارجاً وداخلاً والإنتاجية التبريدية النوعية لها تساوي الإنتاجية التبريدية النوعية للدورة (1-4-3-2-1).

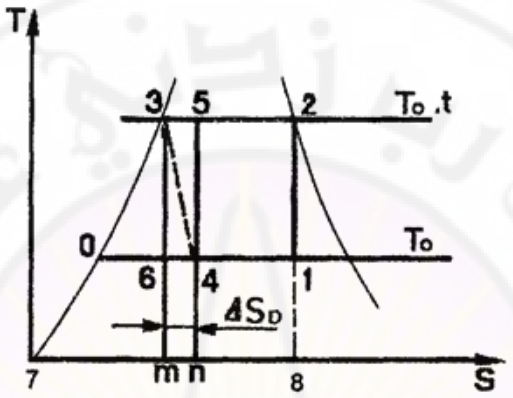
عمل الدورة (1-4-5-2-1) يكافئ المساحة (1-4-5-2-1). الفرق بين المساحتين (1-2-3-0-1) و(1-4-5-2-1) ما هو إلا الزيادة الحاصلة في عمل الدورة والناتج عن اللاعكوسة في عملية الخنق (3-4). العمل الإضافي يحدد بالشكل التالي:

$$\Delta w_D \sim \text{المساحة}(4-5-3-0-4) = \text{المساحة}(1-2-5-4-1) - \text{المساحة}(1-2-3-0-1) \qquad (2\text{-}18)$$

إن المادة العاملة في النقطة (3) تتمتع باحتياطي من الطاقة الكامنة تكافئ المساحة (0-3-6-0). في عملية الخنق تتحول هذه الطاقة إلى طاقة حركية متحركة باتجاه سير المادة العاملة. بعد الخنق فإن الطاقة الحركية تتحول عند فرملة المادة العاملة إلى حرارة احتكاكية

وتعطى إلى المادة العاملة نفسها. هذه الحرارة تكافئ المساحة (m-6-4-n-m). وبهذا الشكل وفقاً لقانون انحفاظ الطاقة يكون:

المساحة (0-3-6-0) تساوي المساحة (m-6-4-n-m)



الشكل (3-2): تمثيل الدورة العكسية ذات الخنق على مخطط T-s

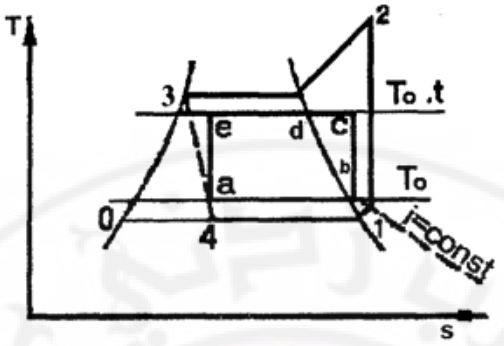
عندئذ:

$w_{\sim}$ = المساحة (4-5-3-0-4) + المساحة (1-2-5-4-1) = المساحة (1-2-3-0-1) ~

= المساحة (1-2-5-4-1) + $T_{0\cdot i}$ المساحة (m-3-5-n-m) ~ $w_{min} + \Delta s_D$ =

$= w_{min} + w_D$.

الشكل (2-4) يبين الدورة (1-4-3-2-1) لآلة تبريد حقيقية مع انضغاط أديباتي. توجد في هذه الدورة جميع أنواع الضياعات اللاعكوسة التي ورد ذكرها سابقاً، أي الضياعات اللاعكوسة المرتبطة بالتبادل الحراري بين المادة العاملة والمصادر، وأيضاً الضياعات المرتبطة بالخنق.



الشكل (4-2): الضياعات اللاعكوسة للدورة العكسية الحقيقية

ومن أجل تحديد درجة الأداء الترموديناميكي للدورة (4-2-3-1) وإيجاد معامل اللاعكوسية η_{rev} من الضروري إنشاء الدورة النموذجية. الدورة المثالية بالنسبة للدورة قيد الدرس تنشأ كالتالي:

بما أن التبادل الحراري بين المادة العاملة والمصادر في الدورة النموذجية يجب أن يتم عند فرق درجات حرارة لانهائي في الصغر لذا فإن الدورة ستحدد من الأعلى والأسفل بخطي درجة الحرارة $T_{o.t}$ و T_o على التوالي. النقطة (a) تقع على تقاطع الخط (4-3) و T_o. بعد ذلك من النقطة (1) يرسم خط i=const حتى التقاطع مع T_o (النقطة b). بهذا الشكل فإن أساس الدورة المثالية هو القطعة (a-b). بما أنه حسب الإنشاء يكون $i_b - i_a = i_1 - i_4$ هذا يعني أنه يتحقق واحد من شروط إنشاء الدورة المثالية، أي تساوي الإنتاجية التبريدية النوعية للدورتين المثالية والدورة قيد الدراسة.

كما أن (b - c) هو انضغاط ادبياتي و (c - d) انضغاط ايزوترمي (كلتا العمليتين عكوسة)، أما (d - e) طرح الحرارة عند فرق درجات حرارة لانهائي في الصغر (عكوس)، وبالنهاية فإن (e - a) تمدد وفق الخط s = const وهو عكوس أيضاً.

بهذا الشكل الدورة (b-c-d-e-a-b) عكوسة داخلاً وخارجاً وتعد الدورة المثالية بالنسبة للدورة (1-4-3-2-1).

عمل الدورة (1-4-3-2-1) يكافئ المساحة (1-0-3-2-1)، وعمل الدورة النموذجية يكافئ المساحة (b-c-d-e-a-b). الفرق بين هاتين المساحتين يعطي الزيادة في العمل الناتج عن وجود اللاعكوسية في إجراءات الدورة (1-4-3-2-1).

$\Delta w \sim$ المساحة (1-2-3-0-1) – المساحة (b-c-d-e-a-b)

معامل العكوسية يحدد من العلاقة التالية:

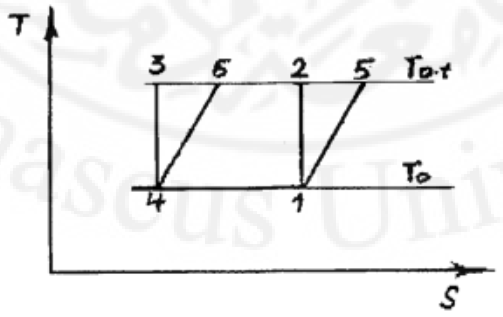
$$\eta_{rev} = \frac{w_{min}}{w} = \frac{(b-c-d-e-a-b)}{(1-2-3-0-1)} \qquad (2\text{-}19)$$

4 - 2 – الدورات العكسية العكوسة في الشروط المختلفة للمصادر الحرارية:

سوف نعالج بعض الحالات العامة المتعلقة بالدورات العكسية في الشروط المختلفة للمصادر خارجاً:

إذا كانت درجة حرارة المصادر ثابتة ولا تتغير خلال عملية التبادل الحراري، فإن الدورة الوحيدة التي تتحقق فيها شروط العكوسية هي دورة كارنو (1-4-3-2-1) أو الدورة (1-4-6-5-1)، انظر الشكل(2-5)، وفي هذه الدورة يكون $s_6 - s_4 = s_5 - s_1$ إن مثل هذه الدورة تسمى الدورة التجديدية (الإرجاعية).

في هذه الدورات يتم إعطاء الحرارة للمادة العاملة وطرح الحرارة منها بشكل يلبي شروط العكوسية خارجاً، إذا كانت درجة حرارة المادة العاملة في عملية التبادل الحراري دائماً قريبة جداً من درجة حرارة المصدرين (المصدر الحراري الأدنى والوسط المحيط).



الشكل (2-5): دورة كارنو والدورة التجديدية في مخطط T - s

إجراءا الانضغاط والتمدد للمادة العاملة في دورة كارنو يجريان بشكل أديباتي (عند s=const) أي أنهما إجراءان عكوسان.

في الدورة التجديدية يكون ازدياد الإنتروبي في عملية الانضغاط مساوياً تناقص انتروبي المادة العاملة في عملية التمدد، أي أن مجموع تغير الإنتروبي في هذين الإجراءين يساوي الصفر. إن مثل هذه الدورة التجديدية تعدّ دورة مثالية (نموذجية) وتسمى في علم الترموديناميك (دورة كارنو المعممة).

إن استخدام مثل هذه الدورات ممكن فقط في الحالة التي تحافظ فيها المصادر الخارجية أثناء عملية التبادل الحراري على حرارة ثابتة.

إن قيمة معامل دورة كارنو أو دورة كارنو المعممة توجد من خلال درجة حرارة المصدرين كالتالي:

$$\varepsilon = \frac{T_o}{T_{o.t} - T_o} \qquad (2\text{-}20)$$

إن تأثير تغير درجتي حرارة المصدرين في دورة كارنو في معامل التبريد مختلف ويحدد من العلاقة التالية:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{o.t}} = -\frac{T_o}{(T_{o.t} - T_o)^2} \quad , \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial T_o} = \frac{T_{o.t}}{(T_{o.t} - T_o)^2}$$

وبالتالي:

$$\left|\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{o.t}}\right| < \left|\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_o}\right| \qquad (2\text{-}21)$$

بهذا الشكل فإن تأثير تغير درجة حرارة الوسط المحيط يكون في معامل التبريد أقل من تأثير تغير درجة حرارة المصدر الحراري الأدنى. هنا يقصد بأن درجة حرارة المصدرين تأخذ قيماً ما جديدة وفي عملية التبادل الحراري تبقى درجة حرارة هذين المصدرين ثابتة.

في الحياة العملية غالباً ما تتغير درجة حرارة المصادر الخارجية في عملية التبادل الحراري، ولذلك من أجل تحقيق شروط العكوسية الخارجية فإن درجة حرارة المادة العاملة يجب أن تتغير بما يتفق مع تغير درجة حرارة المصادر الخارجية. عند ذلك يجب أن يراعى

التوازن الترموديناميكي في كل نقطة من نقاط الإجراء بين المادة العاملة والمصادر الخارجية. في هذه الحالة لا يمكن عدّ الدورة النموذجية دورة كارنو لأن ذلك يؤدي إلى اللاعكوسية الخارجية. في هذه الحالة يجب أن تستبدل الإيزوترمات في دورة كارنو بإجراءات عكوسة خارجاً يتبع تغير درجة حرارة المادة العاملة فيها بدقة لتغير درجة حرارة المصادر الخارجية.

لتكن لدينا الدورة (1-4-3-2-1) العكسية العكوسة والتي تتغير فيها درجات الحرارة في عمليتي الكسب والطرح الحراري، يمكن عدّ هذه الدورة كمجموعة من دورات كارنو العنصرية (a-b-c-d)، كما في الشكل (2-6).

$$\varepsilon = \frac{dq_0}{dq - dq_0} = \frac{T_o^i ds}{T_{o-t}^i ds - T_o^i ds} = \frac{T_o^i}{T_{o.t}^i - T_o^i} \qquad (2\text{-}22)$$

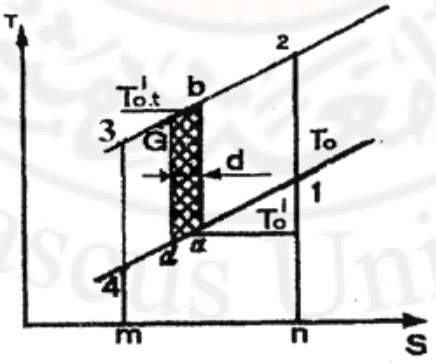
معامل التبريد للدورة (1-4-3-2-1) يعرف كالتالي:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{q - q_o} = \frac{\int_4^1 dq_o}{\int_2^3 dq - \int_4^1 dq_o} \qquad (2\text{-}23)$$

يمكن التعبير عن قيم q_o و q من خلال درجتي الحرارة الوسطيتين المكافئتين T_{om} و $T_{o.tm}$:

$$q_o = \int_4^1 T_{om} ds = T_{om}(s_1 - s_4) \qquad (2\text{-}24)$$

$$q = \int_2^3 T_{o.tm} ds = T_{o.tm}(s_2 - s_3) \qquad (2\text{-}25)$$



الشكل (2-6): دورة لورانس في مخطط T - s

كما هو معروف فإن كميتي الحرارة المعطاة والمطروحة q_o و q تكافئان بالتتالي المساحتين (m-4-1-n-m) و (m-3-2-n-m) في مخطط T-s. في العلاقة (2-24) استبدلنا بالشكل الرباعي (m-4-1-n-m) مستطيلاً له المساحة نفسها و القاعدة نفسها s_1-s_4 وكان ارتفاع هذا المستطيل مساوياً T_{om}، كما أننا حصلنا على $T_{o.lm}$ في العلاقة (2-35) بالأسلوب نفسه.

على أساس العلاقات (2-23) حتى (2-25) نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{T_{om}}{T_{o.lm} - T_{om}} \qquad (2\text{-}26)$$

كان الفضل الكبير في تحليل الدورات بمساعدة درجات الحرارة المكافئة الوسطية للعالم (مارتينوفسكي).

الدورة (1-4-3-2-1) الشكل (2-6) تسمى بدورة (لورانس).

إن أي انحراف عن الدورة العكوسة (1-4-3-2-1) سيؤدي إلى الضياعات اللاعكوسة ويؤدي بالتالي إلى زيادة العمل في الدورة العكسية.

لندرس بعض صفات دورة لورانس. عند التحليل سوف نفترض أن الحرارة النوعية في إجراء التبادل الحراري ثابتة. ونرمز بـ c_{4-1} للحرارة النوعية في الإجراء (1-4) وبـ c_{2-3} للحرارة النوعية في الإجراء (2-3) وكذلك:

$$a = \frac{c_{4-1}}{c_{2-3}}, \tau = \frac{T_4}{T_1}, \tau_o = \frac{T_4}{T_3}, \tau_h = \frac{T_3}{T_2},$$

نظراً لكون تغير الإنتروبي في الإجراءين (2-3) و (1-4) متساوياً (الشكل 2-6) لذا فإن:

$$\Delta s_{2-3} = c_{2-3} \ell n \frac{T_2}{T_3} \quad , \quad \Delta s_{4-1} = c_{4-1} \ell n \frac{T_1}{T_4}$$

ومنه يكون:

$$\frac{c_{4-1}}{c_{2-3}} \ln \frac{T_1}{T_4} = \ln \frac{T_2}{T_3}$$

هذا يعني أن: $$a \ln \tau = \ln \tau_h$$

وبالتالي:

$$\tau_h = \tau^a \qquad (2\text{-}27)$$

ومع مراعاة هذه العلاقة يمكن التعبير عن معاملي التبريد ε و التدفئة μ لدورة لورانس بالشكل التالي:

$$\varepsilon = \frac{q_{4\text{-}1}}{q_{2\text{-}3} - q_{4\text{-}1}} = \frac{c_{4\text{-}1}(T_1 - T_4)}{c_{2\text{-}3}(T_2 - T_3) - c_{4\text{-}1}(T_1 - T_4)} = \frac{1}{\dfrac{1}{a\tau_o}\dfrac{\tau^{-a} - 1}{\tau^{-1} - 1} - 1} \qquad (2\text{-}28)$$

$$\mu = \frac{q_{2\text{-}3}}{q_{2\text{-}3} - q_{4\text{-}1}} = \frac{c_{4\text{-}1}(T_1 - T_4)}{c_{2\text{-}3}(T_2 - T_3) - c_{4\text{-}1}(T_1 - T_4)} = \frac{1}{1 - a\tau_o \dfrac{\tau_h^{1/a} - 1}{\tau_h^{1} - 1}} \qquad (2\text{-}29)$$

وفي العلاقتين الأخيرتين تؤخذ T_4 ، T_1 و T_3 كدرجات حرارة أولية للدورة التبريدية، و T_4 ، T_2 و T_3 للمضخة الحرارية. لذلك فإن ε يعبر عنها من خلال τ و τ_o، أما μ فيعبر عنها من خلال τ_o و τ_h.

والعلاقتان (2-28) و (2-29) تصلحان لجميع دورات لورانس العكوسة ولا تتعلقان بخواص المادة العاملة. التحديد الوحيد يكمن في ثبات الحرارة النوعية خلال إجرائي إعطاء وطرح الحرارة.

لنقارن مصاريف الطاقة اللازمة لتبريد المصادر من T_2 إلى T_1 بمساعدة دورة لورانس العكوسة ودورة كارنو، التي يتم فيها إعطاء الحرارة من المصدر المبرِّد عند درجة حرارة مساوية أخفض درجة حرارة في دورة اورانس.

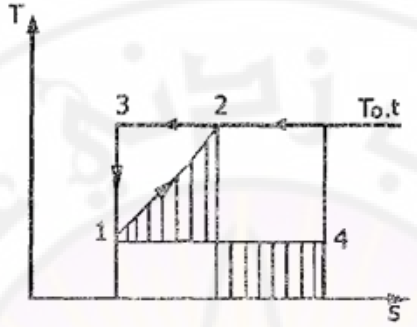
عند ذلك سوف نفترض أن انتقال الحرارة إلى الوسط المحيط في كلتا الدورتين يتم في عمليات ايزوترمية. إن مثل هذه الدورة المثلثة للورانس (1-2-3-1) وأيضاً دورة كارنو (1-3-5-4-1) التي تعطي الإنتاجية التبريدية نفسها ، ممثلتان على مخطط T-s على الشكل (2-7). من الشكل يتضح أن العمل المصروف في دورة لورانس عند الإنتاجية التبريدية نفسها أقل من العمل المصروف في دورة كارنو:

المساحة (1-2-3-1) < المساحة (4-1-3-5-4).

ومنه: $$\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_\Delta} = \frac{\tau}{1-\tau}\left(\frac{\ln \tau^{-1}}{1-\tau} - 1\right) \qquad (2\text{-}30)$$

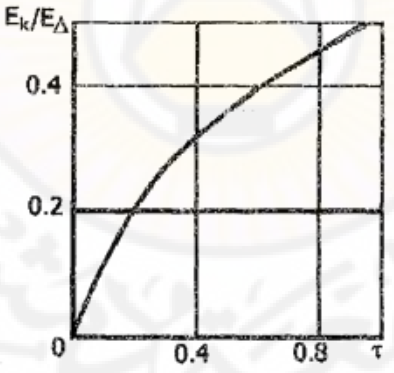
إذ: ε_Δ ، ε_k – بالتتالي معاملي التبريد للدورة المثلثية ودورة كارنو.

كما أن: $\tau = \frac{T_1}{T_2}$



الشكل (2-7): مقارنة دورة لورانس المثلثة ودورة كارنو

من الواضح أنه عندما $\tau \to 1$ فإن: $\lim \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_\Delta} = \frac{1}{2}$ وعند $\tau = 0$ فإن: $\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_\Delta} = 0$



الشكل (2-8): مقارنة معاملي التبريد لدورتي لورانس المثلثية وكارنو

وبالتالي فعند تبريد المواد في العمليات التي تبقى فيها الحرارة النوعية ثابتة فإن فعالية دورة لورانس تفوق فعالية دورة كارنو بما لا يقل عن مرتين.

على الشكل (2-8) نرى العلاقة $\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_A} = f(\tau)$ التي تبين أن استخدام الدورة المثلثية مناسب عند أي قيمة لـ τ، بالرغم من أن الأفضلية الطاقية الأكبر تحصل عند القيم الصغيرة لـ τ.

من الواضح أن الاقتصاد بالطاقة يتم فقط عند التبريد، ولكن ليس في حالة الحفاظ على مستو ثابت لدرجة الحرارة الدنيا. في الحالة الأخيرة يجب اختيار الدورة التي يتم فيها إعطاء الحرارة من الجسم المبرد عند درجة حرارة ثابتة كدورة نموذجية.

5 - 2 – الربط بين الدورتين المباشرة والعكسية:

Connection of Direct and Reversed Cycles

لتحقيق الدورة العكسية من الضروري صرف العمل الحاصل في الدورة المباشرة، ولذلك فإن دراسة العمل المشترك للدورات العكسية مع المحرك الحراري يلاقي اهتماماً خاصاً.

على الشكل (2-9a) نرى دورتين عكسية ومباشرة، والمادة العاملة فيهما ذات تركيب واحد. الدورتان المباشرة والعكسية تحققان دورات كارنو عكوسة عند غياب الضياع على نقل العمل من الدورة المباشرة إلى العكسية.

عمل دورة المحرك الحراري:

$$W' = W'_p - W'_c \qquad (2\text{-}31)$$

إذ: W'_p، W'_c - بالتتالي عملا التمدد والانضغاط للدورة المباشرة.

المردود الحراري للدورة المباشرة يحدد من العلاقة التالية:

$$\eta_t = \frac{W'}{Q_1} \qquad (2\text{-}32)$$

إذ: Q_1 – كمية الحرارة المصروفة في الدورة المباشرة.

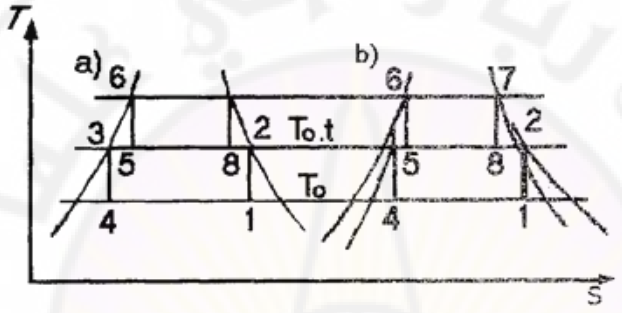
المعامل التبريدي للدورة العكسية:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \qquad (2\text{-}33)$$

في المجموعة المدروسة فإن كل عمل الدورة المباشرة يستخدم في الـدورة العكـسية بدون ضياع، وبالتالي $W = W`$.

باستخدام المعادلتين (2-32) و (2-33) نحصل على:

$$\eta_t Q_1 = \frac{Q_o}{\varepsilon} \qquad (2\text{-}34)$$



الشكل (2-9): مجموعة الدورات المباشرة والعكسية في مخطط T-S:

a- المادة العاملة ذات تركيب واحد b- المواد العاملة مختلفة.

الفعالية الترموديناميكية لمجموعة الدورات المباشرة-العكسية تحدد بالمعامل الحـراري ، وهو نسبة الحرارة Q_o المعطاة للمادة العاملة في الدورة العكسية إلى الحرارة Q_1 المعطـاة إلى المادة العاملة في الدورة المباشرة.

$$\zeta = \frac{Q_o}{Q_1} \qquad (2\text{-}35)$$

إن قيمة المعامل الحراري تعدّ صفة مهمة للمجموعة وتحدد بدرجة ملموسة مـصروف الحرارة.

باستخدام الصيغتين (2-34) و (2-35) نحصل على:

$$\zeta = \eta_t \varepsilon \qquad (2\text{-}36)$$

هذا يعني أن المعامل الحراري لمجموعة الدورات المباشرة - العكـسية هـو جـداء المردود الحراري للدورة المباشرة η_t ومعامل التبريد للدورة العكسية ε. المعامل الحـراري لمجموعة الدورتين يمكن أن يعبر عنه من خلال درجات الحرارة:

$$\zeta = \frac{T_c - T_{o.t}}{T_c} \frac{T_o}{T_{o.t} - T_o} \qquad (2\text{-}37)$$

إذ: T_c- درجة حرارة المصدر الحراري الأعلى.

من العبارة (2-37) نستنتج نتيجة مهمة هي: المعامل الحراري للمحرك الحراري وآلة التبريد، العاملتين وفق دورة كارنو العكوسة يتعلق فقط بدرجة حرارة المصادر الحرارية T_c ، $T_{o.t}$ و T_o، ولايتعلق بصفات المواد العاملة لهذه الدورات.

نسبة المصروف الكتلي للمادة العاملة الدائرة في الدورة المباشرة G_1 إلى المصروف الكتلي للمادة العاملة في الدورة العكسية G_2، تحمل اسم (نسبة التدويز) وتحدد بالعلاقة التالية:

$$a = \frac{G_1}{G_2}$$

أو $$aw' = w \qquad (2\text{-}38)$$

باستخدام المعادلة (2-38) يمكن إعادة كتابة العلاقة (2-35) بالشكل التالي:

$$\zeta = \frac{q_o}{q_1 . a} \qquad (2\text{-}39)$$

على الشكل (2-9b) نرى دورتي كارنو للمحرك الحراري وآلة التبريد، وفيهما تكون المادتان العاملتان مختلفتين. العلاقات التي حصلنا عليها من أجل الدورات ذات المادة العاملة الواحدة تصلح للدورات ذات المواد العاملة المختلفة أيضاً.

عند دراسة الدورة التبريدية فإن معامل التبريد يعدّ من أحد المقاييس المهمة، ولكن الفعالية التامة لعملية الحصول على التبريد الاصطناعي تتعلق ليس فقط بفعالية الدورة العكسية، ولكن أيضاً بفعالية الدورة المباشرة المربوطة معها. هذه الخاصة المهمة توضحها علاقة المعامل الحراري.

المعامل الحراري الحقيقي ζ' يتميز عن المعامل الحراري للدورات العكوسة بقيمة الضياع للدورة المباشرة η_d، وللدورة العكسية η_xوبقيمة الضياع عند نقل العمل من الدورة المباشرة إلى الدورة العكسية η_m. مع مراعاة الضياعات جميعاً يمكن أن تكتسب صيغة المعامل الحراري الحقيقي (الفعلي) بالشكل التالي:

$$\xi' = \eta_t \eta_d \eta_M \varepsilon \eta_x \qquad (2\text{-}40)$$

تمييز المعامل الحراري الفعلي من النظري قد لا يكون واحداً لجميع أنواع آلات التبريد وشروط عملها. مقياس الأداء الترموديناميكي للدورات الفعلية يعبر عنه بالعلاقة:

$$\eta = \frac{\zeta'}{\zeta} \qquad (2\text{-}41)$$

قيمة η تبين درجة اقتراب الإجراءات الفعلية للمجموعة من الإجراءات العكوسة، ولذلك فإن دراسة المفاقيد في الإجراءات الفعلية بقصد الحد منه ما أمكن تشكل إحدى المسائل المهمة في نظرية آلات التبريد.

6 - 2 –التحليل الاكسرجي للدورات العكسية: Exergy

لتحليل الدورات العكسية وكذلك المباشرة في الوقت الحاضر تستخدم غالباً طريقة الاكسرجي. هذه الطريقة تستخدم لأجل مهمتين أساسيتين :

الأولى هي تحديد الإمكانات الترموديناميكية الأعظمية وحساب ضياع الاكسرجي (القدرة على العمل) بنتيجة لاعكوسية الإجراءات والدورات .

الثانية هي تأسيس التوصيات (الإرشادات)فيما يتعلق بأداء هذه الدورات.

يحدد إكسرجي النظام التروموديناميكي في حالتنا بكمية الطاقة التي يمكن أن يستلمها مستقبل طاقة خارجي من النظام عند الانتقال العكوس للأخير من حالة محددة إلى حالة التوازن التام مع الوسط المحيط .

من البديهي أنه في حالة التوازن التام مع الوسط المحيط يتمتع النظام (المادة العاملة) ببعض الطاقة، ولكن استخدام هذه الطاقة غير ممكن .

عند التحليل الاكسرجي للدورات العكسية يجب الأخذ بالحسبان أن كل الدورة أو جزء من إجراءاتها تقع في مجال درجات حرارة أقل من درجة حرارة الوسط المحيط .في هذه الحالة يكتسب الوسط بعض القدرة على العمل بالنسبة للمادة العاملة ،ولكن يجب أن لا ننسى أن هذه القدرة على العمل تحصل على حساب صرف عمل الدورة المباشرة .اكسرجي الحرارة E_Q يحدد بالعلاقة :

$$\text{عند (T=const)} \quad E_Q = Q\frac{(T - T_{0,t})}{T} \qquad (2\text{-}42)$$

أو بشكل أكثر شمولية :

$$E_Q = \int \frac{\delta Q(T - T_{0,i})}{T}$$

إذ :

Q –التيار الحراري

T –درجة حرارة الجسم التي يتم عندها انتزاع الحرارة (أو إعطاء الحرارة).

الاكسرجي النوعي لتيار المادة :

$$e = (i - i_0) - T_{0,i}(s - s_0) \qquad (2\text{-}43)$$

إذ :

S، i –بالتوالي إنتالبي وإنتروبي المادة في الحالة المدروسة.

S0، i0 –بالتوالي إنتالبي وإنتروبي المادة في حالة التوازن الترموديناميكي مع الوسط المحيط.

إذا كانت كتلة المادة العاملة المشاركة في الإجراء تساوي G ،فإن الاكسرجي الكلي E_G يساوي G_e .

حسب التعريف فإن e تساوي العمل الذي يمكن أن يحصل في التيار عند الانتقال العكوس لـ1Kg من المادة في الحالة المحددة إلى حالة التوازن الترموديناميكي مع الوسط المحيط .

إكسرجي الطاقة الميكانيكية E_w يساوي بشكل بديهي الطاقة الميكانيكية نفسها.

إذا عبرنا عن الإكسرجي الداخل إلى النظام بـ E_Q، E_G، E_w وعن الإكسرجي الحاصل بنتيجة قيام النظام بالإجراء بـ $E`_Q$، $E`_G$، $E`_w$ ،يمكن على أساس القانون الثاني للترموديناميك التأكيد بأن :

$$E_Q = E_G + E_w \geq E`_Q + E`_G + E`_w \qquad (2\text{-}44)$$

في هذه العلاقة إشارة المساواة توافق الإجراء العكوس في النظام ،أما إشارة اللا مساواة توافق الإجراء اللاعكوس .

بمساعدة العلاقة (2-44) تتحد المؤشرات الأعظمية للدورات عند اجراءاتها العكوسة .

بهذا الشكل وعلى الرغم من أنه في أي جزء من الآلة تكـون الحـرارة المعطـاة مساوية الحرارة المطروحة ،إلا أن الأكسرجي المطروح مشروط باللاعكوسية داخلاً وخارجاً للإجراءات الترموديناميكية الفعلية .

بالحالة العامة فإن قيمة هذا الفقد $\Pi = \sum E - \sum E'$ يمكن أن تحدد بعلاقة هوا- ستودولا التالية:

$$\Pi_i = T_{o.i} \sum \Delta s_i \qquad (2\text{-}45)$$

إذ : $\sum \Delta s_i$ مجمل تغير إنتروبي جميع المواد المشاركة في الإجراء .

لكل نقطة من المحطة يحسب معامل الفقد الترموديناميكي بالعلاقة :

$$\Omega = \Pi_i / E_n \qquad (2\text{-}46)$$

أما لكامل المحطة فإن درجة الأداء الترموديناميكي (المعامل الإكسرجي للفعل المفيد):

$$\eta_e = \frac{(E_n - \sum \Pi_i)}{E_n} = 1 - \sum \Omega_i \qquad (2\text{-}47)$$

إذ : E_n – الإكسرجي الداخل إلى المحطة .

في طريقة التحليل الإكسرجي يقتطع جزء معين من المحطـة بمقطعـين حـدوديين شرطيين n و k (الشكل 10 -2) ويحدد تيارا الإكسرجي E_{ik} و E_{in} عبر هـذين المقطعـين، وبعد ذلك يحسب المعامل الإكسرجي للفعل المفيد لأجل العنصر المقتطع :

$$\eta_{ei} = E_{ik} / E_{in} \qquad (2\text{-}48)$$

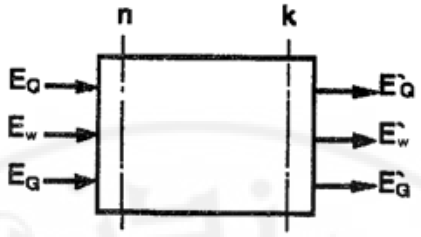
ضياع الإكسرجي في العنصر :

$$\Pi_i = E_{in} - E_{ik} = (1 - \eta_{ei}) E_{in} \qquad (2\text{-}49)$$

أما المعامل الإكسرجي للفعل المفيد لأجل الجزء المدروس من المحطة :

$$\eta = \frac{E_k}{E_n} \qquad (2\text{-}50)$$

إن العلاقتين (2-45) و (2-49) متشابهان ،وعلى كل حال فإن الطريقة الإكـسرجية تتمتـع بإمكانات أوسع لتحليل المحطة المختلفة.من البدهي أن $\eta_e = \eta_{rev}$



الشكل (2-10) :تيارات الإكسرجي في عنصر المحطة

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

وسائط التبريد

Refrigerants

3 - 1 -تعريف:

إن عملية طرح الحرارة من المصدر الحراري الأدنى وكذلك عملية إعطاء الحرارة إلى المصدر الحراري الأعلى أو الوسط المحيط مرتبطتان بظاهرة التبادل الحراري. هاتان العمليتان تتمان بمشاركة ما لا يقل عن مادتين أحدهما مبردة (أو مسخنة) - وتسمى المادة العاملة أو وسيط التبريد.

التبريد الاصطناعي مرتبط بإنجاز دورات ترموديناميكية لآلات التبريد تستند بشكل أساسي إلى التحول الطوري للمواد العاملة. إن طرح الحرارة المستمر من المصدر المبرد ممكن عند وجود احتياطي كبير من المادة العاملة أو عندما تكون الكمية محدودة على أن تعاد المادة العاملة إلى حالتها الأولية بعد إنجاز العملية التبريدية.

تتصف الوسائط التبريدية المستخدمة في آلات التبريد بدرجات حرارة غليان طبيعية في المجال من $(+100^{o}C)$ حتى $(-160^{o}C)$. إن الماء والهواء يعدان أكثر الوسائط التبريدية توافراً.

إن استخدام الماء محدد بدرجة غليان أكبر من الصفر. عند ذلك بسبب ارتفاع درجة الحرارة الطبيعية للغليان فإن ضغط بخار الماء يكون منخفضاً، فعندما تكون درجة حرارة الغليان قريبة من الصفر مثلاً $t_o = 2^{o}C$ فإن الضغط يكون P_o=795P_a ولذلك فإن الماء يستعمل في آلات التبريد ذات الايجيكتور البخاري (ضاغط تيار البخار) وفي آلات التبريد ذات الدورات الامتصاصية العاملة على الماء - بروميد الليثيوم وبشكل أساسي في محطات تكييف الهواء.

إن استخدام الهواء محدد أيضاً بصغر حرارته النوعية (حوالي 1kJ/kg°K)، نتيجة لذلك في الآلات ذات الإنتاجية التبريدية الكبيرة يلزم انضغاط كمية كبيرة من الهواء في

الضاغط. الهواء يستخدم كمادة شغالة في آلات التبريد الغازية (الهوائية) ذات الإنتاجية التبريدية الصغيرة نسبياً.

في الوقت الحاضر يستعمل نحو (30 – 40) وسيطاً تبريدياً عدا الماء والهواء، ومعظمهم لاقوا استخداماً محلياً في محطات التبريد وبالأخص غاز الأمونيا وزمرة الفريونات.

إن إمكان استخدام الوسائط التبريدية في آلات التبريد مختلفة الوظائف وذات الشروط المختلفة في تحقيق الدورات الترموديناميكية محددة بخصائص هذه الوسائط نفسها. إن مثل هذه الخصائص هي السمية، الرائحة، قابلية الانفجار والاشتعال، درجة حرارة التجمد، التفاعل مع المعادن والزيوت بالإضافة إلى الخصائص الترموديناميكية.

إن تسمية الفريونات مشتقة من كلمة Frigor (البرد) وعادة يرمز إلى الفريون برمز مختصر بدلاً من كتابة الصيغة الكيميائية وعلى سبيل المثال الفريون 12 رمزه R-12 بينما رمزه الكيميائي CCL_2F_2 والفريون 22 رمزه الكيميائي $CHCLF_2$ وكذلك R-13 (CF_3CL) و R-14 (CF_4) و R-114 ($C_2CL_2F_4$)...إلخ.

يدل رمز الفريون على المعلومات التالية:

١- يرمز الرقم الأول من اليمين (الآحاد) إلى عدد ذرات الفلور في المركب.

٢- يرمز الرقم الثاني من اليمين (العشرات) إلى عدد ذرات الهيدروجين مضافاً إليه واحد.

٣- يرمز الرقم الثالث من اليمين (المئات) إلى عدد ذرات الفحم منقوص منه واحد.

٤- يكون عدد ذرات الكلور ضمن الفريون بحيث يحقق الصيغة التالية:

$C_n(H,Cl,F) = 2n+2$: إذ n عدد ذرات الفحم.

وكمثال نأخذ فريون R-13 (CF_3Cl) وبتطبيق الملاحظات المذكورة نجد عدد ذرات الهيدروجين يساوي الصفر H=0 والفلور F=3 والكربون n=1 ومنه يتم حساب العدد الإجمالي لذرات (H, Cl, F) من العلاقة:

$$2n+2=2\times1+2=4$$

ومنه: $H + F + Cl = 4$

وبالتالي عدد ذرات الكلور يساوي 1.

٥- أحياناً تحل ذرة واحدة أو أكثر من البروم محل ذرة أو ذرات الكلور لذلك يضاف إلى رمز هذا النوع من الفريونات الحرف B ويشير العدد المرافق للحرف B على عدد ذرات البروم مثل $R13B_1$ (CB_rF_3) والفريون $R\text{-}114B_2$.

استناداً إلى القاعدة السابقة نستخرج الرمز الكيميائي للفريون $R\text{-}114B_2$.

١- عدد ذرات الهيدروجين والفلور والكربون يساوي:

$$C = 2 \text{ و } H = o \text{ و } F = 4$$

٢-عدد ذرات الكلور $(N = 2)$:

$$2n + 2 = 2 \times 2 + 2 = 6$$
$$Cl + H + F = 2 + o + 4 = 6$$

ومنه ينتج عدد ذرات الكلور $Cl = 2$

أي أنه قد تم استبدال بذرتي الكلور ذرتا بروم وبالتالي يصبح الرمز الكيميائي:

$$(C_2 . F_4 - Br_2)$$

2 - 3- الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد:

Thermodynamic Properties of Refrigerants

يعبر عن هذه الخواص بالقياسات التالية: الضغط الحرج P_{cr} والحجم النوعي الحرج v_{cr} ودرجة الحرارة الحرجة T_{cr} ودرجة حرارة الغليان الطبيعية T_s (وهي درجة حرارة الغليان عند الضغط الجوي العادي) و T_f درجة حرارة التجمد، وثابت تروتون $\frac{\mu_{rs}}{T_s}$ حيث μ الوزن الجزيئي، و r_s حرارة تشكل البخار عند ضغط 1bar، عدد غوادبرغ $\frac{T_s}{T_{cr}}$، الحرارة النوعية للسائل c'_n، والحرارة النوعية للبخار المشبع الجاف c''_n، والحرارة النوعية للبخار زائد التسخين c_v و c_p، الإنتروبي s والانتالبي i.

تتحدد الخواص الترموديناميكية بشكل عام في منطقة البخار المشبع بالتابع P=f(t)، لذا يمكن تقسيم وسائط التبريد تبعاً لضغط الإشباع إلى وسائط تبريد مرتفعة، متوسطة ومنخفضة الضغط.

تنتمي إلى المجموعة الأولى وسائط التبريد التي تكون قيمة ضغطها الاشباعي عند درجة حرارة 30^oC في المجال (20-70 bar) وينتمي لهذه الفئة كل من فريون R-13 وغاز الفحم CO_2.

كما تنتمي إلى المجموعة الثانية وسائط التبريد التي يتراوح الضغط الإشباعي لبخارها في المجال (3-20 bar) مثل كل من فريون R-12 و R-22 والأمونيا.

وتنتمي إلى المجموعة الثالثة وسائط التبريد التي تبلغ قيمة ضغطها الإشباعي عند درجة حرارة $30^o C$ أقل من (3 bar) مثل فريون R-21 والماء.

ويمكن تقسيم وسائط التبريد تبعاً لدرجة حرارة الغليان الطبيعية إلى ثلاث مجموعات.

تنتمي إلى المجموعة الأولى وسائط التبريد التي تكون درجة حرارة الغليان الطبيعية لها $t_s<-60^o C$.

إلى المجموعة الثانية تنتمي وسائط التبريد التي تكون درجة حرارة الغليان الطبيعية لها $-60 \div -10^o C$. $t_s =$

وتنتمي إلى المجموعة الثالثة وسائط التبريد ذات درجة حرارة الغليان الطبيعية -10° $t_s> C$.

التصنيف بحسب الضغط ودرجة الحرارة مترابط. الوسائط ذات درجة حرارة الغليان ($t_s< -60^o C$) تنتمي إلى المجموعة المرتفعة الضغط وبالعكس فإن وسائط التبريد المنخفضة الضغط تنتمي إلى المجموعة ذات درجات حرارة الغليان المرتفعة.

إن تصنيف وسائط التبريد يحتم اختيارها وفقاً لنظام درجة حرارة عمل آلات التبريد، ويمكن أن نميز ما يلي:

أ- الآلات ذات درجة الحرارة المرتفعة($t_o > -10^o C$) مثل المضخات الحرارية، والآلات التي تستخدم في تكييف الهواء وبشكل أساسي وحيدة المرحلة.

ب- الآلات ذات درجة الحرارة المتوسطة $(t_o = -10 \div -30^oC)$، بشكل أساسي وحيدة المرحلة.

جـ- الآلات ذات درجة الحرارة المنخفضة ثنائية المرحلة $(t_o = -30 \div -55^oC)$، ثلاثية المرحلة (t_o حتى $-70\,^oC$) والتسلسلية (t_o حتى -110^oC).

الجدول (1 - 3) يبين الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد الأكثر انتشاراً.

البارامترات الترموديناميكية لحالة وسيط التبريد ترتبط ببعضها بوساطة معادلة الحالة.

$$f(P,v,T) = 0 \qquad (3 - 1)$$

كما هو معلوم فإن معادلة كلابيرون (P.v=R.T) تنطبق فقط على الغازات المثالية: وإن استخدام مثل هذه المعادلة في تقنيات التبريد محدد في مجال ضيق من المسائل. بالنسبة للغازات الحقيقية فإن معادلة الحالة يمكن أن تُمثل بالشكل التالي:

$$P = R.Z.T.\rho \qquad (3\text{-}2)$$

إذ Z – معامل الانضغاطية ويتعلق بالبارامترات اللابعدية مثل $\pi = \frac{P}{P_{cr}}$، $\tau = \frac{T}{T_{cr}}$، (إذ P_{cr} و T_{cr} الضغط ودرجة الحرارة الحرجين)، هذا يعني أن $Z = f(\pi,\tau)$.

الجدول (1-3) الخواص الترموديناميكية لعدد من وسائط التبريد

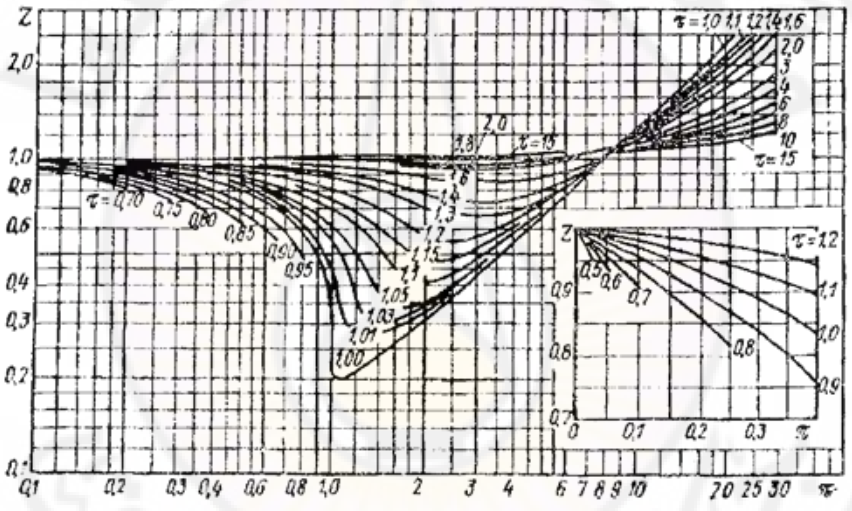
اسم وسيط التبريد	t_s (c°)	t_{cr} C^o	P_{cr} Bar	v_{cr} m3/kg	درجة حرارة التجمد t_p°C	دليل الأديابات K	معامل تروتون $\mu.r_s/T_s$	عدد غولدبرغ T_s/T_r
وسائط تبريد قديمة								
الماء	100	374.15	221.1	3	0	1.33	26.018	0.577
الأمونيا	-33.35	132.4	112.8	4.9	-77.7	1.3	232.5	0.59
R-11	23.7	198	43.7	1.805	-111	1.13	20.1	0.631
R-12	-29.8	112.04	41.1	1.793	-155	1.14	19.86	0.634
R-13	-81.5	28.78	38.5	1.721	-180	-	19.5	0.635
R-14	-128	-45.5	37.4	1.58	-184	1.22	19.81	0.638
R-21	8.73	178.5	51.6	1.915	-135	1.106	21.05	0.625
R-22	-40.8	96	49.3	1.905	-160	1.16	20.8	0.629
R-113	46.82	214.1	33.89	1.735	-36.6	1.09	20.2	0.659
R-114	3.63	145.8	32.7	1.715	-94	1.07	-	0.606
R-112B	-9.25	137.1	41.8	2.249	-130.8	1.135	20.64	0.644
$R\text{-}113B_1$	-57.8	67	65.6	1.342	-143.2	-	-	0.632
وسائط تبريد جديدة غير ضارة للبيئة								
R -134a	-26.1	101.2	40.7	-	-	-	-	-
R -407A	-42.3	83	45.4	-	-	-	-	-
R -407B	-45.2	76	41.6	-	-	-	-	-
R -407C	-40	86	46.5	-	-	-	-	-
R -507	-46.5	70.9	37.9	-	-	-	-	-
R -410A	-51.8	78.4	58.3	-	-	-	-	-
R -404A	-46.1	72.1	37.3	-	-	-	-	-
R -600a	-11.8	135	36.5	-	-	-	-	-
R -290	-42.1	96.7	42.5	-	-	1.13	-	-

عند وجود تشابه ترموديناميكي لبعض وسائط التبريد فإن قيمة Z عند القيم نفسها لكل من π و τ ستكون متساوية (واحدة) لكل هذه المجموعة. ولكن حتى الوقت الحاضر لم يتم وضع عدد تشابه ترموديناميكي عالي الدقة بالنسبة للغازات الحقيقية.

لنفترض أنه من الممكن استخدام عدد التشابه ($Z_{cr} = P_{cr}\, v_{cr} / RT_{cr}$) .من أجل معظم الفريونات وبعض وسائط التبريد الأخرى $Z_{cr} = 0.26 / 0.28$، وهذا ما يسمح بالحصول على علاقة ذات مدلول واحد لهذه المجموعة من الوسائط $Z = f(\pi,\tau)$.

على الشكل (1 - 3) أدرجت علاقة معامل الانضغاطية بالبارامتر اللا قياسي $\pi = \frac{P}{P_{cr}}$ عند قيم مختلفة $\tau = \frac{T}{T_{cr}}$ لوسائط التبريد التي لها $Z_{cr} = 0.27$.

من الشكل نرى أنه عند $\pi \leq 6$ و $\pi \leq 2$ فإن معامل الانضغاطية $Z<1$. هذا يعني أنه في المجال الذي تحل فيه معظم المسائل العملية المنتمية إلى التبريد المعتدل فإن الأبخرة والغازات الحقيقية تتمتع بانضغاطية أكبر من الغازات المثالية. عند $\pi > (8 \div 9)$ فإن معامل الانضغاطية $Z>1$ لجميع الأبخرة والغازات.



الشكل (1 - 3) علاقة معامل الانضغاطية Z بالبارامتر اللابعدي π

بالنسبة للغازات الحقيقية فقد لاقت استخداماً العديد من معادلات الحالة لمختلف العلماء، مثل بيتي، فوكالوفيتش – نوفيكوف، ماير، بوغلوبوف، كليتسكوغو وغيرهم.

إن تحديد بارامترات وسائط التبريد في الدورات التي تتم في منطقة البخار المشبع باستخدام معادلة كلابيرون يقودنا إلى أخطاء كبيرة وكذلك الأمر عند إجراء الحسابات باستخدام معادلات الغاز الحقيقي باستخدام معادلة دوبر $P(v-b)=RT$ أو معادلة فاندرفالس $(P + \frac{a}{v^2})(v - b) = R.T$ إذ لا تمكننا هاتان المعادلتان من الحصول على نتائج دقيقة بشكل كاف.

المعادلة التي تعطينا مقاسات أكثر دقة هي معادلة بيتي ويعبر عنها بالشكل:

$$P = \frac{RT(1-\varepsilon)}{v^2}(v + b - \frac{a}{v^2}) \qquad (3\text{-}3)$$

a و b و ε- ثوابت خاصة بوسيط التبريد.

إن حساب بارامترات وسائط التبريد باستخدام هذه المعادلات معقد جداً، لذلك غالباً ما يتم إجراء الحسابات المتعلقة بالدورات التبريدية باستعمال المخططات مثل مخطط (T-s) أو (i-logP) أو (i-s).

توضح هذه المخططات نتائج الدراسات التجريبية وبمساعدة بعض المعادلات يتم توضيح الإجراءات الترموديناميكية الأساسية عند P=const، v=const، i=const، s = const.

يجب ملاحظة أنه في مخططات T-s أو i-s وعند خط السائل (x=o) تنطبق جميع خطوط ثبوت الضغط على بعضها مع وجود انحراف صغير لهذه الخطوط بالقرب من النقطة الحرجة.

الخصائص الترموديناميكية لوسائط التبريد تؤثر بشكل رئيس في الفعالية الترموديناميكية للدورات، وفي مؤشرات ومواصفات آلات التبريد والضواغط. لندرس تأثير الخصائص الترموديناميكية لوسائط التبريد (c_p, c'_x, c''_x, r) في الضياعات اللاعكوسة للعمل عند الخنق وطرح حرارة زيادة التسخين (التحميص) عند انضغاط البخار، مثلاً الدورة النظرية لآلة التبريد، الشكل (2 - 3).

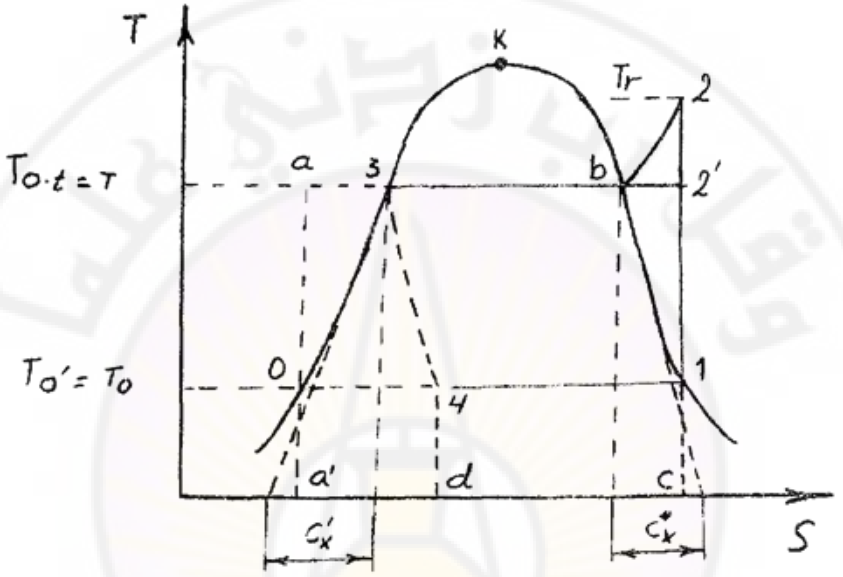
عند درجات حرارة ثابتة للمصدرين الخارجيين T_o و $T_{o.t}$ وفرق لانهائي في الصغر لدرجات الحرارة في عمليتي التبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصدرين، وكذلك عند عمليات الانضغاط العكوسة (`1-2 و `2-b) فإن الدورة (1-4-3-b-`2-`1) تحوي إجراء لا عكوساً واحداً وهو إجراء الخنق (4-3).

الإنتاجية التبريدية للدورة $q_o = i_1 - i_4$ في مخطط T-s تكافئ المساحة الواقعة تحت الإجراء (1-4) أي المساحة (d-4-1-c-d).

هذه المساحة هي الفرق بين المساحة (a`-o-1-c-a`) والمساحة (a`-o-4-d-a`) والذي يساوي المساحة (d-4-1-c-d). المساحة (a`-o-1-c-a`) تمثل حرارة التبخر r_o عند

درجة حرارة غليان T_o، أما المساحة (a`-o-4-d-a`) فهي تمثل كميـــــة الحـــرارة -$q`=i_4$ i_0.

وبما أنه في إجراء الخنق يكون $i_4 = i_3$ فإن $q`=i_3-i_0$.



الشكل (2 - 3): الدورة النظرية لآلة التبريد

إن كمية الحرارة المعطاة في الإجراء الأيزوبـــاري (3-0) تـــساوي $c`_x (T - T_o)$ وبالتالي يكون:

$$q` = c`_x (T - T_o)$$

ولذا فإن:

$$q_o = r_o - c`_x (T - T_o)$$

كمية الحرارة المطروحة من وسيط التبريد في الإجراء (3-2`) تساوي:

$$q = T\Delta s_{2`-3}$$

تغير الإنتروبي في الإجراء (3-2`) هو:

$$\Delta s_{2`-3} = \Delta s_{1-o}-\Delta s_{3-a}$$

وبما أن:

$$\Delta s_{1-o} = \frac{r_o}{T_o}$$

و أن:

$$\Delta s_{3-2} = c'_x \ln \frac{T}{T_o}$$

يمكن أن نحصل على الشكل التالي:

$$q = [\frac{r_o}{T_o} - c'_x \ln(\frac{T}{T_o})]T$$

معامل التبريد للدورة (1-2`-b-3-4-1):

$$\varepsilon = \frac{q_o}{q - q_o} = \frac{r_o - c'_x (T - T_o)}{T[\frac{r_o}{T_o} - c'_x \ln(\frac{T}{T_o})] - [r_o - c'_x (T - T_o)]}$$

بتقسيم البسط و المقام على r_o نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{1 - \frac{c'_x}{r_o} \times (T - T_o)}{T[\frac{1}{T_o} - (\frac{c'_x}{r_o}) \ln(\frac{T}{T_o})] - [1 - (\frac{c'_x}{r_o})(T - T_o)]} \qquad (3\text{-}4)$$

من هذه المعادلة نجد أن ε تأخذ أكبر قيمة لها عندما $r_o \to \infty$ أو $c'_x \to o$.

توجد في الدورة (1-4-3-2-1) بالإضافة إلى الضياعات اللاعكوسة في إجراء الخنق ضياعات لاعكوسة متعلقة بتسخين البخار عند الانضغاط في الإجراء (2-2`). عمل الدورة بالمقارنة مع الدورة (1-4-3-b-2`-1) عند إنتاجية تبريدية واحدة يزداد بمقدار Δw ويكافئ للمساحة (2`-2-b-2`).

يمكن بإهمال لا خطية الخط (2-b) أن نكتب:

$$\Delta w = 0.5 (T_r - T) \Delta s_{2\text{-}b}$$

من الترموديناميك معلوم أن $ds = c\frac{dT}{T}$ ، حيث c – الحرارة النوعية. بتكامل هذه المعادلة عند $C_p = const$ في المجال من T وحتى T_r وعند $c''_x = const$ في المجال T_o وحتى T نحصل على:

$$\Delta s_{2-b} = c_p \ln \frac{T_t}{T} = c''_x \ln \frac{T}{T_o}$$

ومنه:

$$T_t = T(\frac{T}{T_o})^{\frac{C''_x}{C_p}}$$

و :

$$\Delta w = 0.5c''_x T[(\frac{T}{T_o})^{\frac{C''_x}{C_p}} - 1]\ln(\frac{T}{T_o})$$

أما المعامل التبريدي للدورة (1-4-3-2-1) يأخذ الشكل التالي:

$$\varepsilon = \frac{r_o - c'_x (T - T_o)}{T[\frac{r_o}{T_o} - c'_x \ln \frac{T}{T_o}] - [r_o - c'_x (T - T_o)] + 0.5c''_x T[(\frac{T}{T_o})^{\frac{C''_x}{C_p}} - 1]\ln \frac{T}{T_o}}$$

بتقسيم البسط والمقام على r_o نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{1 - (\frac{c'_x}{r_o})(T - T_o)}{T[\frac{1}{T_o} - \frac{c'_x}{r_o} \ln \frac{T}{T_o}] - [1 - \frac{c'_x}{r_o}(T - T_o)] + (\frac{0.5c''_x}{r_o})T[(\frac{T}{T_o})^{\frac{C''_x}{C_p}} - 1]\ln \frac{T}{T_o}} \qquad (3\text{-}5)$$

من المعادلة (3-5) نرى أن أكبر قيمة لـ ε تكون عند القيم الاعظمية لحرارة التبخر $(r_o \to \infty)$ وللحرارة النوعية الايزوبارية $(c_p \to \infty)$، و عند القيم الاصغرية للحرارة النوعية للسائل المشبع $(c'_x \to o)$وللحرارة النوعية للبخار $(c''_x \to o)$.

من التحليل السابق يمكن التوصل إلى النتيجة التالية: عند درجات حرارة محددة وثابتة للمصادر الخارجية يجب اختيار وسيط تبريد ذي خصائص تمكننا من تحقيق الدورة عند درجات حرارة بعيدة عن درجة الحرارة الحرجة $(\frac{T}{T_{cr}} = 0.5 \div 0.85)$.

إن درجة عكوسية الدورات الترموديناميكية التي تصف الأداء الترموديناميكي لوسيط التبريد عند شرط ثبات درجة حرارة المصادر أثناء إعطاء الحرارة وطرحها تحدد كنسبة معامل التبريد للدورة على معامل التبريد لدورة كارنو.

درجة الأداء الترموديناميكي تتعلق بالضياعات الداخلية اللاعكوسة، والتي تحدد بوساطة المعاملات التي تأخذ بالحسبان الضياعات الناتجة عن الخنق η_d والضياعات الناتجة

عن تسخين البخار عند الانضغاط η_p. بالنسبة للدورة التبريدية النظرية عند ثبات درجة حرارة المصادر يكون:

$$\eta = \eta_d . \eta_p \qquad (3\text{-}6)$$

إن هذه العلاقة مهمة لتحليل واختيار وسائط التبريد بما يتطابق مع الدورات التي تنجزها هذا الوسائط. إذا افترضنا أن η= const لمجموعة من الوسائط فإن η_p وη_d يكونان متناسبين عكساً، وهذا يعني أنه للوسائط التي تكون عندها الضياعات كبيرة أثناء الخنق فإن الضياعات الناتجة عن تسخين البخار صغيرة والعكس صحيح.

الضياعات الناتجة عن الخنق مرتبطة بالخصائص الترموديناميكية لوسائط التبريد مثل الحرارة النوعية للسائل المشبع c'_x وحرارة التبخر r_o، وبالتالي فإن الضياعات الناتجة عن زيادة التسخين تتعلق بهذه البارامارات نفسها. إضافة إلى ذلك فإن قيمة η_p تتعلق بالحرارة النوعية للبخار المشبع والمحمص (زائد التسخين) عند ضغط ثابت c''_x و c_p بالتوالي.

وسائط التبريد التي تملك حرارة تبخر كبيرة r_o تكون فيها الحرارة النوعية للسائل المشبع c'_x صغيرة (تصاعد شديد للمنحني الحدي اليساري لمخطط T-s)، ولذلك ضياعات الخنق للدورة تكون أصغرية وقيمة η_d كبيرة. عند إنجاز الدورة في المجال الواقع بقرب درجة الحرارة الحرجة فإن لاعكوسية الخنق تزداد وذلك لأن $r_o \to o$ و $c'_x \to \infty$ وبالتالي فإن استخدام وسائط التبريد ذات الضغط العالي والتي تكون درجة الحرارة الحرجة لها منخفضة غير مناسب للحصول على درجات حرارة غليان منخفضة.

كما ذكرنا أعلاه فإن قيمة الحرارة النوعية للبخار المشبع والمحمص c''_x و c_p تؤثر (بالإضافة إلى r_o و c'_x) في الضياعات الناتجة عن التسخين عند الانضغاط. هذا مرتبط بكون انحدار الايزوبار في مجال البخار المحمص شديداً عند القيم الصغيرة لـ c_p، وبالتالي درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط ترتفع، ووفقاً لذلك تنخفض قيمة η_p (الأمونيا مثلاً).

العلاقة (3-6) تبين أن طبيعة ضياعات الدورة الترموديناميكية تتعلق بخواص وسائط التبريد فهي ليست واحدة لوسائط التبريد المختلفة.

تبعاً لطبيعة الضياع لكل من وسائط التبريد فإن دورة آلة التبريد يجب أن تتألف من إجراءات مختلفة. فبالنسبة للوسائط ذات القيم الكبيرة لـ η_p والقيم الصغيرة لـ η_d من

الضروري أن تحوي إجراءات تقلل من ضياعات الخنق وبالعكس للوسائط ذات القيم الصغيرة لـ η_p يجب أن تحوي إجراءات للتقليل من ضياعات تحميص البخار عند الانضغاط.

3 - 3 – الخواص الفيزيوحرارية والفيزيوكيميائية لوسائط التبريد:

تتأثر قيمة معامل الانتقال الحراري أثناء عمليتي التكاثف والغليان بالعوامل التالية:

اللزوجة μ، الكثافة ρ، معامل التوصيل الحراري λ، حرارة التبخر r.

تتناسب قيمة معامل الانتقال الحراري أثناء عمليتي الغليان والتكاثف طرداً مع قيمة حرارة التبخر r والكثافة ρ ومعامل التوصيل λ وعكساً مع اللزوجة μ، لذلك يفضل أن تتصف وسائط التبريد بقيم عالية لـ r ، ρ ، λ وقيم صغيرة للزوجة μ حتى نحصل على معامل انتقال حراري جيد.

إن كبر قيمة معامل الانتقال الحراري يقلل من الضياع اللاعكوس أثناء عملية التبادل الحراري كما أن قيم اللزوجة والكثافة تؤثر في قيمة الضياع الهيدروليكي أثناء دوران وسيط التبريد ضمن الآلة.

تتبع كمية وسيط التبريد الدوارة ضمن آلة التبريد لقيمة r حيث إن زيادة قيمة حرارة التبخر r تؤدي إلى تخفيض الكمية الدوارة من وسيط التبريد وبالتالي تخفيض القدرة اللازم صرفها لتحقيق التبريد.

مما سبق نستنتج سبب تفضيلنا لوسائط تبريد ذات قيم مرتفعة لحرارة التبخر r وقيم منخفضة للزوجة μ .

سنبحث في الخواص الفيزيوكيميائية لوسائط التبريد النقاط التالية:

إمكان انحلال الزيت في وسيط التبريد – تفاعل الوسيط مع المعادن – قابلية الوسيط للاحتراق أو الانفجار.

1 - 3 - 3 – انحلال زيت التزييت في وسيط التبريد:

(Lubrication oil solubility in the refrigerants)

تقسم وسائط التبريد من وجهة نظر إمكان انحلال الزيت إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى وتنتمي إليها جميع وسائط التبريد التي تمتاز بقابلية امتزاجها مع الزيت بنسبة محددة مثل انحلال الأمونيا (NH_3) مع الزيت بنسبة أقل من 1%، وهذا يعني أنه في الطور السائل دائماً يوجد لدينا طبقتان من سائلين مختلفين هما الأمونيا والزيت.

أما المجموعة الثانية من وسائط التبريد فتتم عملية انحلال الزيت ضمنها بنسبة غير محددة.

في هذا النوع من المحاليل لا تتشكل طبقات مختلفة مع ملاحظة أن بعض وسائط التبريد من المجموعة الثانية يمكن عدهما منتمية أيضاً إلى المجموعة الأولى في حالة خاصة تتبع لحالة وسيط التبريد والزيت إضافة إلى نوع زيت التزييت ودرجة الحرارة .

كأمثلة على وسائط التبريد التي تنتمي إلى المجموعة الأولى نذكر: الأمونيا، ثاني أكسيد الكربون، R-13 , R-14 , R-115.

أما وسائط التبريد التي تنتمي إلى المجموعة الثانية فهي:

R-11 , R-12 , R-21 و R-40.

يمكن أن تتحول الفريونات الداخلة في المجموعة الثانية إلى وسائط تبريد تحقق شروط المجموعة الأولى وذلك عند درجات حرارة منخفضة جداً، كما يمكن عدّ كل من R-22 و R-114، حالة وسطية بين المجموعتين المشار إليهما إذ إن هذين الفريونين ينحلان مع زيت التزييت بنسب غير محددة عند مجال درجات حرارة معين وعند درجات حرارة منخفضة تتحدد نسبة انحلالها مع زيت التزييت.

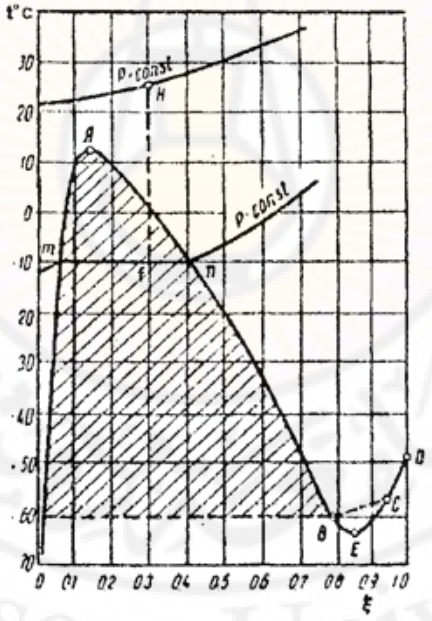
يبين الشكل (3-3) مخطط انحلال زيت التزييت مع الفريون R-22 تبعاً لدرجة الحرارة، المنطقة المهشرة في الشكل هي منطقة (مجال) عدم انحلال، كما تحدد النقطة F الواقعة ضمن هذه المنطقة تركيز المزيج وفق ξ_n و ξ_m حيث تتشكل لدينا طبقتان غير منحلتين بين الزيت والفريون R-22.

إن خاصية انحلال الزيت ضمن وسيط التبريد مهمة جداً عند تصميم الضاغط واستثماره لأنه أثناء إقلاع آلة التبريد وإذا لم يكن اختيار مستوى زيت التزييت مناسباً تكون عملية التزييت في البداية ضعيفة.

في بعض الحالات وقبل إقلاع آلة التبريد تجري عملية تسخين مزيج الفريون والزيت إلى درجة حرارة تتجاوز درجة حرارة النقطة الحرجة A وبالتالي تنتقل النقطة الممثلة لشروط حالة المزيج إلى منطقة الانحلال غير المحدد.

عند إجراء عملية غليان مزيج من وسيط التبريد والزيت ضمن المبخر [مثلاً زيت + (R-22)] فإننا نحتاج للحصول على درجة الغليان نفسها لوسيط التبريد عند كونه نقياً لتخفيض قيمة ضغط التبخر وبالتالي صرف قدرة أكبر بسبب زيادة نسبة الانضغاط في الضاغط.

وعلى سبيل المثال فإن درجة حرارة غليان مزيج من فريون R-12 والزيت عند تركيز 30% تساوي $-30^{o}C$ عند ضغط $0.8\frac{kgf}{cm^2}$ أما عند نسبة مزج 80% وللحصول على درجة حرارة غليان $-30^{o}C$ يجب أن تكون قيمة الضغط مساوية $0.6kgf/cm^2$.



الشكل (3 - 3) مخطط انحلال الزيت بالفريون R-22

تجدر ملاحظة أنه في حالة الامتزاج المحدد لزيت التزييت مع وسيط التبريد يترسب الأول على السطوح الداخلية للمبادلات الحرارية مما يؤدي إلى الإساءة لعملية التبادل

الحراري أما في الحالة التي ينحل بها الزيت مع وسيط التبريد فإن ذلك يـؤدي إلـى زيـادة لزوجة المزيج وبالتالي الإقلال من قيمة معامل الانتقال الحراري.

في السنوات الأخيرة تجري محاولات لتصميم وبناء ضواغط لا تحتاج إلى تزييت.

2 - 3- 3 - انحلال الماء في وسائط التبريد:

(Water solubility in the refrigerants)

تنحل الأمونيا في الماء بنسبة انحلال غير محددة أما بالنسبة للفريونات فإنه يمكـن عدّها غير قابلة للانحلال ضمن الماء وعلى سبيل المثال تبلغ نسبة الماء المنحلة ضمن فريون R-12 الذي عدّ أفضل الفريونات انحلالاً مع الماء 0.006%.

إن وجود كمية قليلة من الماء مع الأمونيا لا يؤثر كثيراً في عمل آلة التبريـد، أمـا بالنسبة للفريونات فإن وجود نسبة من الرطوبة معها تؤدي أثناء عملية الخنق لدرجات حرارة أخفض من الصفر إلى تشكل الجليد ضمن صمام التمدد والذي يعمل على تضييق فتحة الخنق والإساءة إلى عمل آلة التبريد.

مما سبق ينتج أنه يجب الانتباه أثناء تعبئة آلة التبريد بالفريون إلى ضرورة تجفيـف آلة التبريد بشكل جيد كما يجب التأكد من خلو الفريون من الرطوبة.

إن وجود الرطوبة مع وسائط التبريد يساعد على تفاعل وسائط التبريد مع المعـادن وتأكسدها وفي بعض الحالات عندما يكون وسيط التبريد ملامساً لملف المحرك الكهربائي في الضواغط المغلقة فقد يؤدي ذلك إلى تخريب ملف المحرك الكهربائي.

من الناحية الكيميائية يجب أن تكون وسائط التبريد غيـر قابلـة للاشـتعال وغيـر متفجرة وعلى سبيل المثال تعدّ الأمونيا قابلة للانفجار عند وجودها ضمن الهواء بنـسبة 16- 26% أما فريونات R-11, 12, 13, 22 فهي غير قابلة للانفجار.

إحدى الخواص الفيزيائية الجيدة التي يجب أن تتمتع بها وسائط التبريـد أن تكـون غير سامة فمثلاً:

وجود الأمونيا في الهواء يؤدي إلى إحداث تهييج في العيون، كمية الأمونيا القصوى المسموح بوجودها في الهواء لا تتجاوز $0.02\frac{g}{m^3}$، تعدّ الفريونات التي تحتوي عدداً كبيـراً

من ذرات الفلور غير سامة مثل فريون R-113 و R-13 وبشكل عام يمكن القول إن جميع الفريونات غير سامة.

4 - 3 – تأثير خواص الوسائط التبريدية في التصميم والمؤشرات الاستثمارية لآلات التبريد:

إن القيم الأساسية التي تحدّ مجال درجات حرارة استخدام وسائط التبريد هي مستوى ضغطي الغليان P_o والتكاثف P_k والفرق بين هذين الضغطين. الضغطان P_o و P_k يؤثران بشكل ملموس في تصميم الضاغط، فالضغط المنخفض للغليان يشكل تخلخلاً في المبخر في جهة السحب للضاغط وهذا يمكن أن يؤدي إلى تسرب الهواء إلى المجموعة. فرق الضغطين $(P_k - P_o)$ يحدد الحمولة التي تتلقاها عناصر الضاغط، ولذلك فإن هذا الفرق يجب أن يكون صغيراً من أجل التقليل من الوزن والاحتكاك. الضغط المرتفع للتكاثف (نهاية الانضغاط) يعقد تصميم الضاغط.

الصفة المهمة لوسائط التبريد هي نسبة الضغط P_k/P_o، إذ تتعلق المعاملات الحجمية والطاقية والعمل المصروف بقيم هذه النسبة.

نسبة ضغطي التكاثف والغليان تزداد بانخفاض درجة حرارة الغليان الطبيعية للوسائط التبريدية t_s. تجري المحاولات عادة لاستخدام الوسائط ذات درجة حرارة الغليان الأكثر انخفاضاً نظراً لفعاليتها حسب عدد من المؤشرات، ولكن هذا ليس دائماً ممكن لأن (P_k-P_o)، $\frac{P_k}{P_o}$، و P_k يمكن أن يتجاوزوا الحدود المسموحة.

بمقارنة قيم (P_k-P_o) والإنتاجية التبريدية الحجمية q_v لوسائط التبريد تبين أنه للوسائط التبريدية المختلفة عند شروط الدورة المعينة تكون النسبة:

$$\frac{q_v}{(P_k - P_o)} \approx \text{const} \qquad (3\text{-}7)$$

إن وضع هذه العلاقة يساعدنا على تقييم أبعاد الضاغط الذي يعمل على وسيط تبريد غير مدروس بشكل كاف (يرمز له بإشارة *).

عند إنتاجيات تبريدية متساوية وعدد واحد للأسطوانات وشوط متساو وسرعة دوران متساوية يمكن أن نكتب:

$$D^2 q_v = D_*^2 q_{v*} \qquad (3\text{-}8)$$

وبأخذ العلاقة (3-7) بالحسبان نحصل على:

$$D_* = D\sqrt{\frac{P_k - P_o}{(P_k - P_o)_*}} \qquad (3\text{-}9)$$

من هذه العلاقة ينتج أنه بانخفاض الضغوط والفرق بينها تزداد أبعاد الضاغط. الوسائط التبريدية المنخفضة الضغط لا تستخدم في آلات التبريد المكبسية، وذلك لأن الضواغط تصبح كبيرة الأبعاد.

الصفة المهمة لدورة آلة التبريد والتي تؤثر في استطاعة الضاغط هي العمل الأديباتي الذي ينخفض بازدياد الكتلة الجزيئية للوسيط التبريدي. ويؤثر في عمل الضاغط دليل الاديبات k. الضياعات الهيدروليكية عند حركة البخار في عناصر آلة التبريد تسبب زيادة العمل المصروف وتتعلق هذه الضياعات بخواص وسائط التبريد. بانخفاض درجة حرارة الغليان الطبيعية يزداد المصروف الكتلي للوسيط التبريدي G_q والذي يتعلق بالكثافة ρ، وبالتالي تزداد سرعة حركة البخار.

إذا تم استخدام وسيطي تبريد في آلة تبريد واحدة كلٌ على حدة وكان الضياع المسموح به للضغط واحداً للحالتين، فإن سرعة الحركة المسموح بها ترتبط بالعلاقة:

$$w_* = w\sqrt{\rho / \rho_*} \qquad (3\text{-}10)$$

وبهذا الشكل بزيادة كثافة الوسيط فإن السرعات المسموح بها تصبح أقل.

وفقاً لعلاقة الإنتاجية التبريدية الحجمية q_V لوسيط التبريد بدرجة حرارة الغليان الطبيعية t_o فإن استخدام وسائط ذات درجات حرارة غليان طبيعية منخفضة للحصول على إنتاجية تبريدية واحدة يسمح باستخدام ضواغط مكبسية ذات عدد أسطوانات أقل أو ذات أقطار أقل. ولكن مثل هذه الوسائط تتطلب زيادة سماكة جدران الهيكل. الضواغط المكبسية الحديثة تملك مؤشرات أبعاد كتلية أعلى عند استخدام وسائط تبريد ذات درجة حرارة غليان طبيعية منخفضة منها للضواغط التي تستخدم وسائط تبريد ذات درجة حرارة غليان مرتفعة وإنتاجية حجمية صغيرة.

خواص وسائط التبريد تؤثر بشكل ملموس في البارامترات التصميمية لآلات التبريد الطاردة المركزية والضواغط.

إن مثل هذه الخواص المؤثرة نسبة الضغط P_k/P_o، الانتاجية الحجمية q_v، الكتلة الجزئية μ، دليل الاديبات وغيرها.

إن قطر الدولاب العامل يزداد عند زيادة μ وانخفاض q_v، وعليه لتصغير أبعاد الآلة يجب استخدام وسائط تبريد ذات قيم أقل لدرجة حرارة الغليان الطبيعية t_s.

إن تصغير القطر على حساب تخفيض μ يؤدي إلى زيادة السرعات المحيطية للدولاب u. إن أكبر قيمة لـ u تحدد بالقيمة المسموحة لعدد ماخ M وبسرعة الصوت عند شروط الدخول إلى الدولاب. طالما أن M عند شروط الخروج لا يتعلق بطبيعة الغاز المضغوط، لذا فإن قيمة u تتعلق بسرعة الصوت في المادة العاملة (وسيط التبريد) وتنخفض بانخفاض دليل الأديبات وازدياد الكتلة الجزيئية.

عند قيم متقاربة لعدد ماخ لوسائط تبريدية مختلفة يمكن افتراض أن درجة ارتفاع الضغط π في المرحلة متساوية، والتي تحدد عدد المراحل تبعاً لشروط تحقيق الدورة الترموديناميكية.

إن استخدام وسائط تبريد ذات كتلة جزيئية كبيرة (وسائط ثقيلة) يسمح بتخفيض السرعة المحيطية للدولاب، وعند قيم متساوية لكل من Q_o و q_v يمكن أن يؤدي إلى تقليل عدد دورات المحور. انخفاض درجة حرارة الغليان الطبيعية للوسيط يؤدي إلى تخفيض القيمة العددية لنسبة الضغط P_k/P_o، ولذلك عند قيم منخفضة لـ t_sيمكن الحصول على درجة تبريد منخفضة t_o في مرحلة واحدة.

5 - 3 – مبدأ اختيار الوسائط التبريدية:

Selection Principle of Refrigerants

هناك عدد كبير من وسائط التبريد التي يمكن استخدامها في تقنيات التبريد وهذه الوسائط ذات خواص ترموديناميكية وعملية متعددة، ولكن من الصعب جداً إيجاد وسيط تبريد يمتلك فقط الخواص الإيجابية بدون بعض السلبيات.

عند اختيار الوسيط التبريدي من الضروري تحليل جملة العوامل التي تصف آلة التبريد والخصائص التصميمية لعناصرها والسعي إلى إقلال التأثير السلبي لخواص وسيط التبريد. وهذا يتحقق على أساس التحليل الترموديناميكي للإجراءات الفعلية العاملة للدورة بالتوافق مع التحليل الفني – الاقتصادي.

إن دراسة خواص الوسائط التبريدية وتأثيرها في المؤشرات الطاقية والاستثمارية وطبيعة آلات التبريد وعناصرها شغلت وتشغل اهتمام العديد من العلماء، وقد وضعت نظرية التشابه الترموديناميكي للوسائط والتي تسمح بالتنبؤ بخواص الوسائط التبريدية غير المدروسة بشكل كاف وذلك حسب عدد محدود من البارامترات المعروفة، هذا وقد تم إنجاز أعمال في بحث الخواص الترموديناميكية لمجموعة من الوسائط ووضعت لها مخططات ترموديناميكية. كما أنجز تحليل يربط خواص الوسيط بالفعالية الترموديناميكية للدورات (المباشرة والعكسية) المنجزة عند درجات حرارة أقل أو أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط.

وعند اختيار الوسيط التبريدي ينصح بأن يتمتع الوسيط المختار بالمتطلبات الترموديناميكية التالية:

١. أن تكون قيمة درجة حرارة الغليان الطبيعية أصغرية.

٢. يجب أن لا تكون قيمة الضغط في نهاية عملية الانضغاط كبيرة وذلك أن زيادة قيمة الضغط في نهاية عملية الانضغاط تؤدي إلى زيادة تعقيد بناء آلة التبريد وزيادة نفقات البناء وزيادة إحكام الآلة منعاً لحدوث أي تسرب.

٣. أن يكون فرق الضغط $(P_k - P_o)$ أصغرياً.

٤. يفضل أن تكون قيمة النسبة P_k / P_o (نسبة الضغوط) أصغر ما يمكن وذلك لأن انخفاض قيمة هذه النسبة يؤدي إلى انخفاض القدرة المصروفة في الضاغط ويؤدي إلى زيادة مردود الضاغط.

٥. أن تكون قيمة دليل الاديبات k أصغر ما يمكن.

٦. يفضل أن يكون ضغط وسيط التبريد ضمن المبخر أعلى من الضغط الجوي منعاً لحدوث تسرب هواء إلى داخل آلة التبريد وبالتالي الإساءة إلى أداء الآلة.

٧. أن تكون قيمة الإنتاجية التبريدية الحجمية q_v أكبر ما يمكن حيث $q_v = \frac{q_o}{v}, \frac{kw}{m^3}$ لأنه كلما ازدادت قيمة q_v (مما يصغر الحجم الدائر في آلة التبريد) صغر حجم الضاغط. مما سبق نستنتج سبب استعمال وسائط التبريد ذات التأثير التبريدي الحجمي الصغير في الضواغط التوربينية.

٨. يجب أن تكون درجة حرارة تجمد وسيط التبريد منخفضة وأن تكون قيمة درجة الحرارة الحرجة مرتفعة لأن الأولى تحدد أخفض درجة حرارة تبريد يمكن الوصول إليها أما الثانية فتمكن من إجراء عملية التكاثف عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط، بالإضافة إلى ذلك يزداد مردود آلة التبريد فالاقتراب من النقطة الحرجة يخفض قيمة حرارة التبخر ويخفض بالتالي مردود الآلة ويزيد من قيمة الضياعات الحاصلة في عملية الخنق.

٩. يجب أن تكون قيمة حرارة التبخر مرتفعة لأنه كلما ازدادت حرارة التبخر نقص معنا وزن كمية وسيط التبريد الدائرة في الآلة والضرورية للحصول على الحمل التبريدي المطلوب.

إلى جانب الخواص الترموديناميكية، هناك متطلبات أخرى يجب أخذها بالحسبان عند اختيار وسيط التبريد مثل السمية ، قابلية الانحلال مع الزيوت والماء، قابلية الانفجار، قابلية الاشتعال، الثمن وغير ذلك.

6 - 3 – مجالات استخدام وسائط التبريد: (Refrigerants Usage):

انطلاقاً من الفرق المسموح به بين ضغطي التكاثف والغليان $(P_k-P_o)=1.7 \div 2.1 MP_a$. وبأخذ القيم المناسبة لـ P_k/P_o بالحسبان والصفات الحرارية للضواغط تمت دراسة المجالات المنصوح بها لاستخدام أكثر الوسائط التبريدية انتشاراً.

طبقاً لتصنيف وسائط التبريد ومناطق استخدامها فإنه ينصح باستخدام وسائط التبريد المنخفضة الضغط في الآلات المستخدمة لأجل تكييف الهواء عند درجات حرارة تكاثف عالية: R11 و R113 يستخدمان في الآلات ذات الضواغط النابذة (الطاردة المركزية) غير كبيرة الإنتاجية في الدورات ذات المرحلة الواحدة وذات المرحلتين. الوسائط ذات الضغط

المتوسط تستخدم عند درجات حرارة غليان من +10°C حتى -80°C في الدورات ذات المرحلة الواحدة والمرحلتين لآلات التبريد (بشكل نادر في التسلسلية). الوسائط ذات الضغط العالي تستخدم فقط في الفروع السفلية للآلات ذات درجة الحرارة المنخفضة.

فيما يلي نستعرض خواص وسائط التبريد الأكثر انتشاراً أو استعمالاً:

١- الأمونيا NH_3:

بدأ استعمال الأمونيا كوسيط تبريد عام 1874 وتتميز برائحتها الحادة والمضرة للإنسان حيث يكفي وجود الإنسان في جو يحتوي الأمونيا بنسبة (1% ÷ 0.5) في الهواء إلى اختناقه في فترة لا تزيد على 60 دقيقة، وتصبح الأمونيا قابلة للانفجار عند وجودها في الهواء بنسبة (16-26%).

أبخرة الأمونيا أخف وزناً من الهواء، عديمة اللون وتمتزج الأمونيا مع الماء بنسبة غير محددة وتعتبر قليلة الامتزاج مع زيت التزييت.

تتفاعل الأمونيا الرطبة مع الزنك، البرونز وخلائط النحاس وتتميز الأمونيا بخواص ترموديناميكية جيدة حيث تبلغ درجة حرارة غليانها الطبيعية -33.6°C، كما أن التأثير التبريدي الحجمي q_v للأمونيا كبير.

تستعمل الأمونيا بشكل أساسي للحصول على مجال درجات حرارة تبريد يتراوح ما بين -30°C و -40°C، كما يمكن استعمالها أيضاً للحصول على درجة حرارة تصل حتى -60°C عند درجة حرارة تكاثف 40°C .

تتميز الأمونيا برخص ثمنها وبساطة تحضيرها ولذلك تستعمل كوسيط تبريد في محطات التبريد المتوسطة والكبيرة العاملة على الضواغط المكبسية والتوربينية.

لا تستعمل الأمونيا في البرادات المنزلية لخطرها على الإنسان.

ليس للأمونيا تأثير ضار في البيئة، حيث إن قوة تأثيرها في تآكل طبقة الأوزون ODP=0.

يمكن تحديد السعة الحرارية النوعية للأمونيا السائلة ضمن المجال الحراري (-70, 45) من المعادلة التالية:

$$c' = 0.7491 - 0.000136t + \frac{4.0225}{\sqrt{133 - t}} \left(\frac{Kcal}{Kg.^oC}\right) \qquad (3\text{-}11)$$

تتحدد قيم الحرارة النوعية c''_p للبخار الجاف المشبع وقيم C_P للبخار المحمص من جداول ومخططات خاصة.

تساوي كثافة سائل الأمونيا عند درجة حرارة ^{o}C -25 $\rho' = 0.6028 \frac{Kg}{Lit}$ وعند الدرجة -30°C ، $\rho' = 0.6777 \frac{Kg}{Lit}$.

2 – الفريونات:

هناك ما يزيد على خمسين نوعاً من الفريونات سنقتصر على إعطاء لمحة موجزة عن أهم الفريونات المستخدمة.

1- الفريون R-12 (CCl_2F_2):

الفريون R-12 وسيط ثقيل لا لون له، له رائحة ضعيفة جداً ويعدّ أقل وسائط التبريد تأثيراً في الإنسان، أثقل من الهواء بـ 4.18 مرة.

درجة حرارة غليانه الطبيعية (-29.8°C) وغالباً ما يستعمل في المناطق الاستوائية عند درجة حرارة تكاثف 60°C وضغط لا يزيد على $12 \div 15 \frac{Kgf}{cm^2}$.

تأثيره ضار جداً في البيئة، حيث إن ODP=1.

يمكن استعمال هذا الوسيط حتى درجة حرارة تكاثف 70°C مع الإشارة إلى أن التأثير التبريدي الحجمي له (q_v) أقل من قيمته بالنسبة للأمونيا لذلك تكون الضواغط العاملة على الفريون أكبر من مثيلتها العاملة على الأمونيا بـ 1.3 مرة وذلك عند الاستطاعة نفسها. كثافة البخار المشبع لفريون R-12 أكبر بـ (5-6) مرات من كثافة أبخرة الأمونيا المشبعة مما يؤدي إلى حدوث ضياع هيدروليكي أكبر أثناء دوران وسيط التبريد.

سرعة دوران R-12 ضمن آلة التبريد أقل بـ (2-2.5) مرة من سرعة دوران الأمونيا، يتميز فريون R-12 بإمكان امتزاج جيد مع زيت التزييت مع التنويه إلى أنه يظهر احتمال انفصال الزيت عن R-12 عند درجات حرارة منخفضة (^{o}C -50 ÷ -40) لذلك تبنى مبخرات وسيط تبريد R-12 إذ تسمح بعودة الزيت إلى الضاغط ويفضل بناء مبخر يأخذ شكل أنبوب حلزوني.

عامل التوصيل الحراري لـ R-12 أقل بكثير من عامل التوصيل الحراري للأمونيا وتبقى ميزة فريون R-12 الأساسية بأنه غير خطر على الإنسان طالما بقيت نسبته في الهواء أقل من 30% وهو غير قابل للاحتراق وغير قابل للانفجار.

يستعمل R-12 بكثرة في آلات التبريد العاملة على درجة حرارة تبخر قدرها C °25- ودرجة تكاثف تصل إلى C °70 وبالتالي يعدّ هذا الوسيط مناسباً للاستعمال في البرادات المنزلية الصغيرة والمتوسطة.

تتحدد السعة الحرارية لسائل الفريون R-12 ضمن المجال الحراري C ° 50- ÷ 80-) C) من المعادلة التالية:

$$c' = 0.2232 + 3.5\times10^{-4}\,t + 0.013\times10^{-4}\,t^2\,(\frac{Kcal}{Kg.^\circ C}) \qquad (3\text{-}12)$$

إن تأثير ارتفاع عمود السائل (الضغط) في درجة حرارة غليان R-12 أكبر بكثير من تأثير ارتفاع عمود السائل للأمونيا .على سبيل المثال تزداد درجة حرارة الغليان لنقطة تقع على عمق 1m من سطح السائل ذي درجة الحرارة C °10 – بمقدار C ° 1.7 كما تبلغ هذه الزيادة قيمة C ° 3.3 عند درجة حرارة سطح قدرها C ° 30- وتصل هذه الزيادة إلى C °13.5 ة عند درجة حرارة سطح قدرها C °70-.

2 – الفريون R-22 ($CHClF_2$):

يقترب هذا الوسيط في خواصه الترموديناميكية من الأمونيا وفي خواصه الكيميائية من الفريون R-12.

درجة حرارة غليانه الطبيعية C ° 40.8- وهو قابل للانحلال مع الماء ويمتزج مع زيت التزييت بشكل تام وبأي نسبة حيث يظهر إمكان انفصاله عن الزيت عند درجات حرارة تتراوح ما بين 10- و C ° 20-.

مما سبق يظهر أن الفريون R-22 يمتزج تماماً مع الزيت في المكثف أما في المبخر فتنفصل طبقة الزيت لتسيل على جدران المبخر ويمكن أن يتحول الزيت إلى قطرات في حالة الامتزاج النشيط.

معامل الانتقال الحراري لفريون R-22 أكبر من معامل الانتقال الحراري لفريون R12 بنحو (25÷30%) لذلك ينقص حجم المبادلات الحرارية العاملة على فريون R-22 عن حجمها في حالة استعمال R-12 بحدود (10÷15%).

ليس له تأثير يذكر في البيئة، حيث إن ODP = 0.055.

تزداد قيمة التأثير التبريدي الحجمي لفريون R-22 بحدود 60% على قيمتها بالنسبة لـ R-12، يمكن تحديد كثافة سائل الفريون R-22 ضمن مجال درجات الحرارة ° (25÷70-) C من المعادلة:

$$\rho' = 1.2849 - 0.003450t - 0.0000073t^2 \qquad (3\text{-}13)$$

وتحسب هذه الكثافة ضمن مجال درجات الحرارة C ° (25÷65) من المعادلة:

$$\rho' = 1.2652 - 0.0021109t - 0.0000298t^2 \qquad (3\text{-}14)$$

يستعمل الفريون R-22 في آلات التبريد ذات مرحلة الانضغاط الواحدة للحصول على درجة حرارة قدرها C ° 25- وفي حالة استعماله في آلات تبريد ذات مرحلتي انضغاط فيمكن الوصول إلى درجة حرارة C ° 80- كما يمكن الوصول إلى درجة حرارة قدرها - C ° 100 عند إضافة ضاغط ناظم بخاري.

3 - الفريون R-13 (CCl_2F_3):

درجة حرارة غليانه الطبيعة C ° 81.5- يستعمل بشكل واسع في آلات التبريد التسلسلية للحصول على درجة حرارة تتراوح ضمن المجال (C ° 110-÷ 60-).

تأثيره ضار للبيئة حيث إن ODP = 1.

4 - الفريون R-14 (CF_4):

درجة حرارة غليانه الطبيعية C ° 128- ، يستعمل للحصول على درجة حرارة تتراوح ضمن المجال (C ° 140-÷ 100-) ويستعمل بشكل واسع في آلات التبريد المؤلفة من ثلاث دارات متسلسلة.

5 - الفريون R-143 (CH_3CH_3):

دخل هذا الفريون مجدداً على آلات التبريد ويتميز بخواص ترموديناميكية أفضل من R-22، درجة حرارة غليانه الطبيعية 47.6° C-.

6 - الفريون R-502 ($C_2clF_5 + CHclF_2$):

وهو مزيج ايزوتروبي من نسبة وزنية قدرها 48.8% من فريون R-22 و 51.2% من فريون R-115، درجة حرارة غليانه الطبيعية 45.6° C -.

تأثيره ضار إلى حد ما في طبقة الأوزون، إذ إن قوة تأثيره في تآكل طبقة الأوزون ODP = 0.33.

7 - الفريون R -134a ($C_2H_2F_4$):

إن مواصفات R134a مشابهة لمواصفات R12 باستثناء أن الأول لا يحُدث أي تآكل في طبقة الأوزون بسبب عدم احتوائه عنصر الكلور، فهو غير ضار للبيئة حيث ODP = 0 ويستخدم كبديل عن R12.

يستعمل R134a في البردات المنزلية وفي التبريد الصناعي والتكييف. مخطط Log P I لـ R134a موضح في الملحق 9.

8 - الفريون R123 ($C_2HCl_2F_3$):

إن مواصفات R123 متشابهة مع مواصفات R11، ورغم أن صيغة R123 الكيميائية تحوي عنصر الكلور، إلا أن جزيئات الكلور فيه أقل من R11.

R123 غير ضار بالبيئة حيث ODP = 0 ويستخدم كبديل عن R11.

9- وسائط التبريد (R404A, R410A, R507, R407A-B-C):

وتعد بدائل عن R502 و R22 كونها غير ضاره بالبيئة حيث ODP = 0.

وتستخدم في التبريد الصناعي، وآلات التبريد الجديدة ووسائط النقل.

10 - وسيطا التبريدي (R290, R600a):

ويعدان أيضاً بدائل عن R502 و R22. لا يضران بالبيئة حيث ODP = 0.

يستخدم R600a في البردات المنـزلية وفي الآلات بكمية قليلة من الوسيط. كما يستخدم R290 في الآلات بكمية قليلة من الوسيط.

بالإضافة إلى وسائط التبريد التي تم ذكرها أعلاه هنالك وسائط تبريد استخدمت قديماً وأصبح استخدامها في الوقت الحاضر محدوداً مثل الماء والهواء وبعض الفحوم الهيدروجينية كما أنه يستخدم في الوقت الحاضر ضمن آلات التبريد الغازية غازات الهيليوم والهيدروجين والنيون وذلك للحصول على درجات حرارة منخفضة جداً تصل حتى درجة حرارة C° 260-.

7 - 3 - وسائط التبريد المساعدة:

Secondary Refrigerants

وسائط التبريد المساعدة هي المواد التي تقوم بنقل الحرارة من الوسط المراد تبريده إلى وسيط التبريد الأساسي والذي بدوره يقوم بامتصاص الحرارة وطرحها إلى الوسط الخارجي (هواء-ماء) تستعمل وسائط التبريد المساعدة في محطات التبريد التي لا يستحسن عندها أن يتم التبريد بمساعدة وسيط التبريد مباشرة كما أن استعمال وسائط التبريد المساعدة ضروري في الحالات التي يكون فيها حجم الدارة كبيراً، إذ تجزأ الدارة إلى دارتين. يستخدم في الدارة الأساسية وسيط التبريد الأساسي **الغالي** الثمن، في حين يستخدم وسيط التبريد المساعد الرخيص الثمن في الدارة الثانوية ذات الحجم الكبير.

المميزات الأساسية التي يجب أن تتمتع بها وسائط التبريد المساعدة:

١. ارتفاع قيم السعة الحرارية ومعامل انتقال الحرارة.
٢. درجة حرارة تجمد منخفضة.
٣. انخفاض قيم اللزوجة والوزن النوعي.
٤. عدم تفاعله مع المعادن.
٥. أن تكون غير سامة وغير قابلة للانفجار.
٦. أن تكون رخيصة الثمن.

من هذه الوسائط:

1 – الماء:

خاصته السيئة ارتفاع درجة حرارة تجمده لذلك لا يمكن استعماله في درجات حرارة أخفض من الصفر.

يستعمل عادة في مجموعات تكييف الهواء.

في حالة استعمال الماء للحصول على درجة حرارة أخفض من الصفر فإنه يجب إضافة بعض الأملاح إليه مثل كلور الصوديوم Nacl وكلور الكالسيوم $Cacl_2$، تتبع خواص الماء مع كلا الملحين لدرجة تركيز المحلول فمع زيادة نسبة الملح في المحلول تنخفض درجة حرارة تجمد المحلول وعلى سبيل المثال عند استعمال محلول الماء مع كلور الصوديوم فإن أخفض درجة تجمد يمكن الحصول عليها هي 21.2°C- عند نسبة تركيز 23.1% وزناً، أما أخفض درجة تجمد يمكن الحصول عليها باستعمال محلول الماء مع كلور الكالسيوم فهي 55° C- عند نسبة تركيز للملح قدرها 29.2% وزناً.

عند زيادة تركيز المحلول الملحي أكثر من الحد المؤدي للحصول على أخفض درجة حرارة تجمد فإن هذه الزيادة لا تؤدي إلى أي زيادة في انخفاض درجة حرارة التجمد بل تؤدي إلى زيادة الوزن النوعي للمحلول وبالتالي زيادة الفواقد الحاصلة في الدارة وانخفاض قيمة السعة الحرارية.

وبشكل عام يتم عادة تحديد التركيز المطلوب للمحلول الملحي اللازم للحصول على درجة حرارة تجمد أخفض من درجة حرارة التبخر بـ(5÷8 ° C) فقط.

2 – الفريون R-30 ($CH_5\ cl_2$):

وهو سائل عديم اللون ذو رائحة خفيفة مشابهة لرائحة الأسيتون لا يمتزج مع الماء ولا يؤثر في المعادن، يمتزج مع الزيوت المعدنية بأي نسبة.

عند استعمال كل من الفريون R-30 و R-11 في مجموعة تبريد غير مباشرة فيجب أن تكون هذه المجموعة محكمة السد والسبب في ذلك هو أنه أثناء توقف المجموعة الأساسية عن التبريد وعند حصول توازن بين درجة حرارة الدارة الوسيطة والوسط الخارجي وبخاصة عندما تتجاوز درجة حرارة الوسط المحيط الدرجة 23.7° C (بالنسبة للفريون

R-11) و 40° C (للفريون R-30) تصبح قيمة الضغط أعلى من الضغط الجوي كما يحصل تبخر شديد للفريون R-11 و R-30 داخل المجموعة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

دورات آلات التبريد البخارية

Cycle of Vapor Refrigeration Machines

4 -1 – مبدأ عمل آلات التبريد (Refrigeration Machine Concept):

يمكن تصور آلة التبريد على أنها مجموعة مغلقة مملوءة بالجسم العامل (المادة العاملة)والذي يدور في آلة التبريد ممتصاً الحرارة من الوسط المبرد ومن ثم يكمل دورة مغلقة ليعود إلى الحالة الابتدائية. مما سبق نرى أن عملية التبريد المستمرة تتم باستعمال كمية محدودة من الجسم العامل. ولتحقيق ذلك فإنه لابد من إعطاء الحرارة التي امتصها من الوسط المبرد إلى جسم آخر كالوسط الخارجي هواء أو ماء.

عادة تكون درجة حرارة الوسط الخارجي أعلى من درجة حرارة الوسط المبرد لذا يكون من غير الممكن تحقيق الانتقال الحراري، فيما بينهما بشكل طبيعي.

وبالتالي فإنه من أجل نقل الحرارة من الوسط المبرد إلى الوسط الخارجي ذي درجة الحرارة الأعلى يتم رفع درجة حرارة الجسم العامل نفسه إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط بصرف قدرة وفقاً للقانون الترموديناميك الثاني.

بعد طرح كمية الحرارة إلى الوسط المحيط يتم تخفيض درجة حرارة الجسم العامل بإجراء تمدد اديباتي للغاز المضغوط أو السائل أو إجراء عملية خنق.

تسمى العملية الدائرية التي يتم بنتيجتها نقل الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى الدورة العكسية المغلقة.

يسمى الجسم العامل الذي يدور في آلة التبريد ويحقق الدورة العكسية المغلقة بوسيط التبريد (Refrigerant).

تسمى آلات التبريد التي تستفيد من غليان السائل عند درجات حرارة منخفضة للحصول على الفعالية التبريدية آلات التبريد البخارية.

الجسم العامل في آلات التبريد البخارية هو سائل ذو درجة حرارة غليان منخفضة عند الضغط الجوي العادي كالأمونيا (NH_3) والفريونات مثل فريون ($CF_2\ CL_2$) R-12 وفريون ($CHF_2\ CL$) R-22، يمكن في بعض الحالات استخدام أجسام عاملة لا تغير من

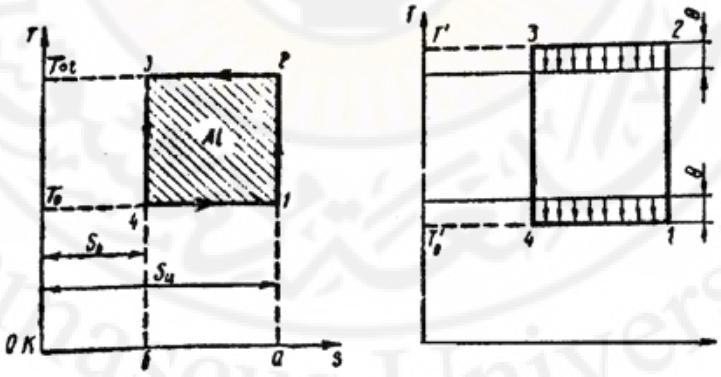
حالتها الطورية أثناء دورانها في آلة التبريد مثل الهواء على سبيل المثال والذي يمتص الحرارة من الوسط المبرد عند ارتفاع درجة حرارته، وبشكل عام فإن امتصاص الحرارة في آلات التبريد البخارية التي تعمل على وسائط تبريد لا تغير من حالتها الطورية يتم بارتفاع درجة حرارة وسيط التبريد نفسه وفي هذه الحالة تسمى آلات التبريد من هذا النوع آلات التبريد الهوائية أو الغازية.

تسمى الآلات التي تحقق الدورة العكسية وتمكن من الحصول على التدفئة المضخة الحرارية، يقوم الجسم العامل في المضخة الحرارية بنقل الحرارة من الوسط البارد إلى وسط ذي درجة حرارة أعلى وهذا يستوجب صرف قدرة ميكانيكية أو حرارية وهكذا نرى أن مبدأ عمل آلة التبريد والمضخة الحرارية واحد باستثناء اختلاف مستويات درجات الحرارة العاملة لكل منهما.

2 - 4 – دورة كارنو العكسية: Reversed Carnot-Cycle

تعدّ دورة كارنو العكسية من وجهة نظر الفعالية التبريدية الدورة الأقل استهلاكاً للقدرة بالمقارنة مع الفعالية التبريدية نفسها للدورات الاخرى، تتألف دورة كارنو التبريدية من إجراءين بثبوت درجة الحرارة (Isothermal) وإجراءين بثبوت أديباتيين (Adiabatic).

(a) (b)



مثالية فعلية بالنسبة لعملية التبادل الحراري

الشكل (1 - 4) دورة كارنو العكسية

يمتص الجسم العامل أثناء الإجراء الايزوترمي 1 - 4 حرارة مقدارها q_o من الوسط المبرِّد وعند درجة حرارة ثابتة للجسم العامل T_o والتي تساوي درجة حرارة الوسط المبرِّد.

يتم خلال الإجراء 1 - 2 رفع درجة حرارة الجسم العامل من الدرجة T_o إلى درجة حرارة الوسط المحيطT_{ot} بضغطه اديباتياً وبالتالي صرف عمل قدرة w_c.

يتم بعد عملية الانضغاط نزع جزء من حرارة وسيط التبريد وطرحها إلى الوسط الخارجي عند درجة حرارة ثابتة لوسيط التبريد مساوية لدرجة حرارة الوسط المحيط (الإجراء 3 - 2)، في الإجراء 4 - 3 يتمدد الجسم العامل اديباتياً فينخفض ضغطه ودرجة حرارته حتى الدرجة T_o وينجز عملاً خارجياً w_p.

يمكن على مخطط (T - s) تمثيل كمية الحرارة التي يمتصها وسيط التبريد في المبرد بالمساحة 4-1-a-b-4 أما كمية الحرارة التي يطرحها وسيط التبريد إلى الوسط الخارجي فتمثل بالمساحة 2-3-a-b-2.

في دورة كارنو يتم نقل الحرارة الممتصة من وسط ذي درجة الحرارة T_o إلى وسط ذي درجة حرارة أعلى $T_{o.t}$ ولتحقيق هذا النقل يلزم صرف عمل w يساوي الفرق ما بين العمل المصروف لتحقيق الانضغاط wc والعمل المكتسب في عملية التمدد w_p:

$$w = w_c - w_p \qquad (4\text{-}1)$$

يتحول العمل اللازم لتحقيق دورة كارنو w إلى حرارة يمتصها الجسم العامل لذلك فإن كمية الحرارة التي يطرحها الجسم العامل إلى الوسط الخارجي عند درجة الحرارة T تساوي مجموع كمية الحرارة الممتصة من الوسط المبرد عند الدرجة T_o والحرارة المكافئة للعمل w أي:

$$q = q_o + w \qquad (4\text{-}2)$$

وبالتالي يمكن التعبير عن العمل المصروف لتحقيق الدورة، كفرق لكميات الحرارة الممتصة والمطروحة أي:

$$w = q - q_c \qquad (4\text{-}3)$$

من الشكل (1,a - 4) نرى أن العمل W يكافئ المساحة (1-4-3-2-1)، تسمى كمية الحرارة التي يمتصها 1kg من وسيط التبريد الإنتاجية التبريدية النوعية أو التأثير التبريدي النوعي.

يعبر عن فعالية أو مردود دورة التبريد (Refrigeration Efficiency) بمعامل التبريد ε والذي يساوي نسبة الإنتاجية التبريدية q_o إلى العمل المصروف في الدورة ∴ أي:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w} \qquad (4\text{-}4)$$

من الشكل (٤-١-a) نجد:

$$\begin{cases} q_o = T_o(s_a - s_b) \\ w = (T_{ot} - T_o)(s_a - s_b) \end{cases} \qquad (4\text{-}5)$$

ومنه نستنتج قيمة معامل التبريد لدورة كارنو:

$$\varepsilon = \frac{T_o(s_a - s_b)}{(T_{ot} - T_o)(s_a - s_b)} = \frac{T_o}{T_{ot} - T_o} \qquad (4\text{-}6)$$

من المعادلة الأخيرة نرى أن قيمة معامل التبريد لدورة كارنو لا يرتبط بخواص الجسم العامل بل يرتبط فقد بدرجات الحرارة T_o و T_{ot} حيث نرى أن قيمة معامل التبريد ε تزداد مع زيادة درجة حرارة الوسط المبرد T_o وانخفاض درجة حرارة الوسط المحيط T_{ot}.

تصور لنا دورة كارنو التبريدية العكسية هذه أقل عمل مصروف ضروري لتحقيق دورة التبريد ضمن المجال الحراري المعطى.

يجب عملياً أن يكون درجة حرارة الجسم العامل T_o أخفض من درجة حرارة الوسط المبرد (درجة حرارة البراد) كما أن درجة الحرارة T_{ot} يجب أن تكون دوماً أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط، وفي الحالة الأخيرة تنتقل الحرارة من الجسم العامل إلى الوسط الخارجي(هواء أو ماء)(الإجراء3 - 2) عند وجود فرق نهائي في درجات الحرارة وبالتالي تصبح العملية غير عكوسة وهذا يؤدي إلى ضياع قدرة إضافية في دورة التبريد.

مما سبق نرى إن في الدورة الحقيقية دوماً فرقاً في درجة الحرارة θ ضرورياً لعملية التبادل الحراري ما بين الجسم العامل (وسيط التبريد) والوسط المحيط سواءً أكان هذا الوسط هو الوسط الداخلي (البراد) أم الوسط الخارجي.

في هذه الحالة يمكن التعبير عن قيمة معامل التبريد ε بالمعادلة:

$$= \frac{T_0 - \theta}{(T_{o.t} + \theta) - (T_0 - \theta)} = \frac{T_0 - \theta}{T_{o.t} - T_0 + 2\theta} \qquad (4\text{-}7)$$

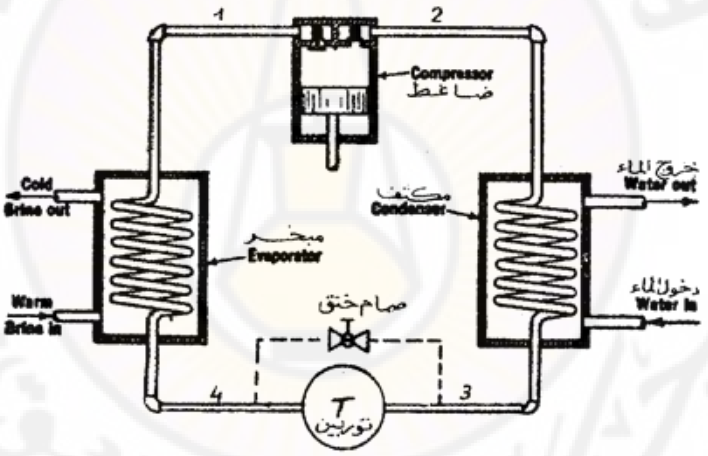
من المعادلة (7 - 4) نرى أن قيمة معامل التبريد ε تتناسب عكساً مع زيادة قيمة θ مع الإشارة إلى أن قيمة مساحة سطح التبريد تزداد مع انخفاض قيمة θ.

وعلى هذا الأساس يتم عادة حساب قيمة θ في دورات التبريد الفعلية على أساس تحقيق اقتصادية مثلى لآلة التبريد.

3 - 4 – دورات آلات التبريد البخارية:

1 - 3 - 4 – الدورة النظرية: الدورة مع ممدد توربيني في حقل البخار الرطب (دورة كارنو التبريدية) (The Cycle with Turbine Expander).

يبين الشكل (2 - 4) آلة تبريد بسيطة مؤلفة من مبخر (Evaporator) وضاغط (Compressor) ومكثف (Condenser) وممدد توربيني (Turbine expander)، يتم عمل الدورة على الشكل التالي: البخار الرطب الخارج من المبخر والمحددة بارامتراته حسب النقطة 1 يدخل إلى الضاغط حيث ينضغط بثبوت الإنتروبي حتى النقطة 2 لتصبح بارامترات الغاز T_K ، P_K.



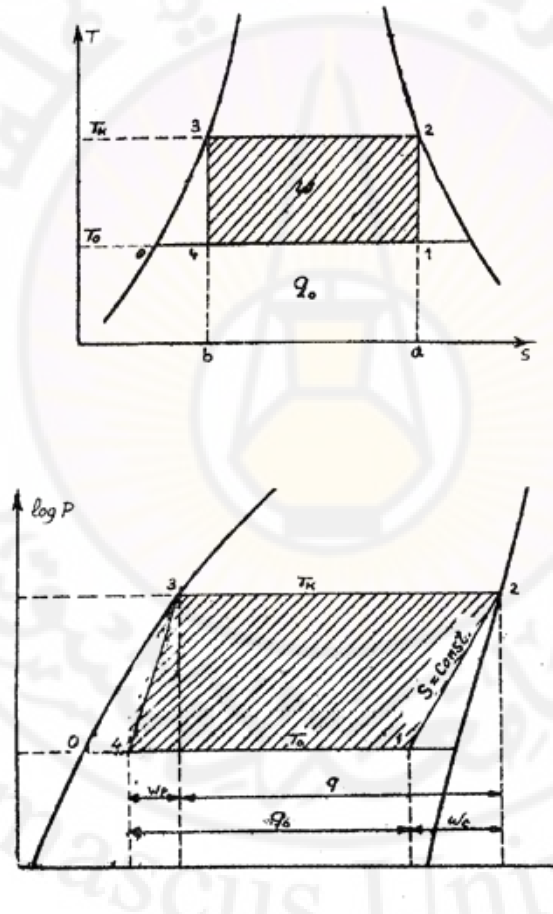
الشكل (٤-٢) دورة كارنو التبريدية

لتحقيق عملية الانضغاط هذه نحتاج إلى صرف قدرة ميكانيكية W_c، من ثم يتجه البخار المضغوط إلى المكثف حيث يتكاثف (يتحول إلى سائل) عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين (الإجراء 3 - 2) مع حدوث انتقال حراري من الوسيط العامل إلى الوسط المحيط.

يدخل وسيط التبريد السائل الخارج من المكثف إلى الممدد التوربيني إذ يتم تمدده بثبات الإنتروبي وبالتالي نحصل على عمل مفيد (الإجراء 4 - 3).

نتيجة العملية (4 - 3) ينخفض كل من ضغط ودرجة حرارة السائل إلـــى P_o ، T_o، يتجه المزيج المكون من السائل والبخار الخارج من الممدد إلى المبخر حيـــث يقـــوم وســـيط التبريد بامتصاص الحرارة من الوسط المبرد بتبخير الجزء السائل عند درجة حرارة T_o ثابتة وضغط P_o ثابت.

مما سبق نرى أن دورة كارنو التبريدية تتألف من إجراءين بثبوت الإنتروبي (1-2) و (3-4) وإجراءين بثبوت درجة الحرارة (2-3) و (1-4).



الشكل (3-4) يمثل دروة كارنو التبريدية على إحداثيات (T-s) و (i-Logp)

تماثل هذه الدورة دورة كارنو العكسية إذا كانت درجة حرارة التكاثف T_c هي درجة حرارة الوسط الخارجي نفسها أي $T_c = T_{o.t}$ ودرجة حرارة تبخر وسيط التبريد T_o هي درجة حرارة البراد نفسها أي $T_o = T_R$.

تكافئ كمية الحرارة التي يمتصها 1kg من وسيط التبريد في المبخر المساحة (b-4-1-a-b) على المخطط T-s والتي تكافئ فرق الإنتالبي i_1-i_4 على مخطط i-log p.

يسمى فرق الإنتالبي $i_4 - i_1$ التأثير التبريدي النوعي الكتلي q_o.

تكافئ كمية الحرارة q التي يطرحها 1kg من وسيط التبريد في المكثف المساحة (b-3-2-a-b) على مخطط T - s والتي تكافئ فرق الإنتالبي $i_2 - i_3$ على مخطط i - log p.

يمكن حساب فرق الإنتالبي المكافئ للعمل المصروف لتحقيق الدورة كما يلي:

$$w = q - q_o = (i_2 - i_3) - (i_1 - i_4) = (i_2 - i_1) - (i_3 - i_4) \qquad (4\text{-}8)$$

مع ملاحظة أن $(i_2 - i_1)$ تكافئ العمل المبذول في الضاغط w_c، $(i_3 - i_4)$ تكافئ العمل المكتسب في الممدد التوربيني w_p.

ومنه:

$$w = w_c - w_p \qquad (4\text{-}9)$$

على المخطط T- s يمكن تقريباً عدّ عمل الممدد مكافئاً للمساحة (3-4-0-3) وعمل الضاغط مكافئاً للمساحة (1-4-3-2-1) ومنه يمكن تحديد معامل التبريد للدورة كما يلي:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{W} = \frac{\text{المساحة}(4-1-a-b-4)}{\text{المساحة}(1-2-3-4-1)} = \frac{q_o}{W_c - W_p} = \frac{q_o}{q - q_c} \qquad (4\text{-}10)$$

4 - 3 -2 – الدورة التبريدية الفعلية: Real Refrigeration Cycle

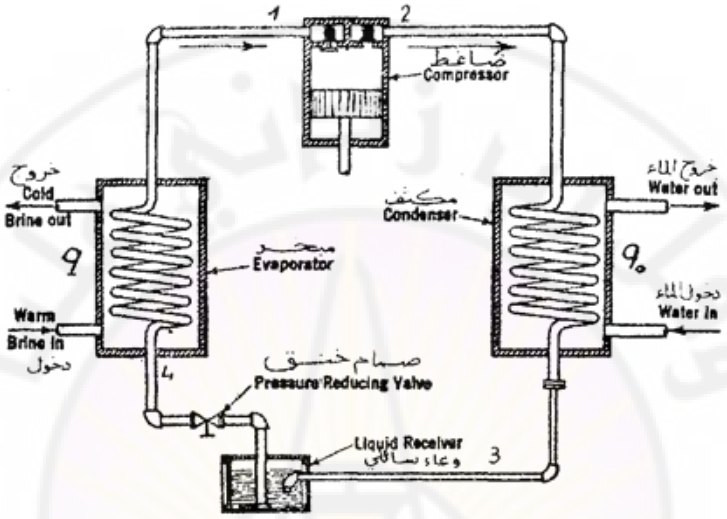
(دورة التبريد في منطقة البخار الرطب بوجود صمام خنق)

تمتاز الدورة التبريدية الفعلية (الشكل 4-4) عن مثيلتها النظرية من حيث مسار الإجراء بوجود عدة انحرافات عن ما سبق شرحه في الدورة النظرية.

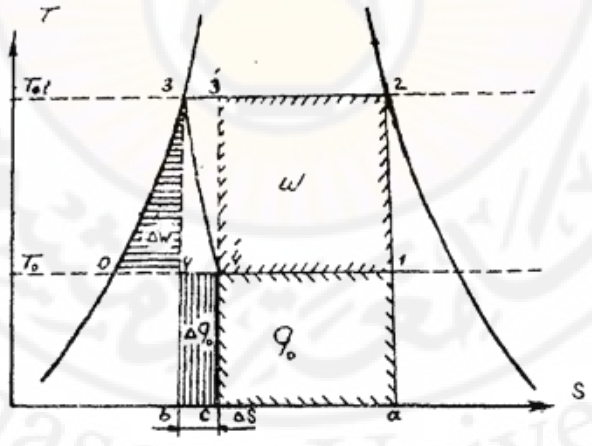
a – الانحراف الأول: استبدال بالممدد التوربيني صمام خنق:

إن سبب استبدال بالممدد التوربيني صمام خنق يعود للأمور التالية:

١. العمل المفيد الذي نحصل عليه من الممدد صغير بالمقارنة مع العمل المبـذول فـي الضاغط.



الشكل (4-4) دورة التبريد بوجود صمام خنق



الشكل (5-4) تمثيل دورة التبريد بوجود صمام خنق على المخطط (T - s)

٢. إن صناعة الممدد المخصص لتمديد السائل في منطقة البخار الرطب تستوجب تقنيـة عالية، ويزيد في حجم آلة التبريد أما صمام التمدد فهو صغير وبسيط التركيب.

٣. من السهل جداً تنظيم تغذية المبخر بوسيط التبريد باستخدام صمام التمدد أما تنظيم التغذية للمبخر بمساعدة الممدد فهي أعقد وأصعب وليست دقيقة كما في صمام التمدد.

أما تأثير هذا الاستبدال في الدورة التبريدية فهو كالتالي:

إن الإجراء المتمثل بالمستقيم (4-3) الشكل (5-4) وفقاً للتمدد الادياباتي الحاصل في الممدد التوربيني ذو طبيعة عكوسة كما في باقي إجراءات الدورة أما الإجراء (`4-3) والذي يتم باستعمال صمام التمدد فهو عملية غير عكوسة وهذا يؤدي إلى حدوث ضياعين:

الضياع الأول: فقد العمل المفيد الناتج عن التوربين w_p وبالتالي يزداد العمل المصروف اللازم لتحقيق الدورة، أي:

$$w_p = \Delta w \qquad (4\text{-}11)$$

الضياع الثاني: نقصان الإنتاجية التبريدية بمقدار Δq_o بسبب إن قدرة الاحتكاك أثناء عملية خنق وسيط التبريد في صمام الخنق تتحول إلى قدرة حرارية تؤدي إلى زيادة نسبة البخار المرافقة لسائل وسيط التبريد وبالتالي تخفيض إمكان امتصاص الحرارة في المبخر بسبب انخفاض كمية وسيط التبريد السائل.

نلاحظ على مخطط (T-s) أن نقصان الإنتاجية التبريدية يكافئ المساحة (4-b-c-4`) ومنه نرى أن الإنتاجية التبريدية المفيدة للدورة مع صمام تمدد تكافئ المساحة (4`-c-a-1).

كما أن العمل المصروف في الدورة يكافئ المساحة (1-0-3-2-1) وهو العمل المصروف في الدورة التبريدية بوجود ممدد توربيني (4-3-2-1) مضافاً إليه قيمة الضياع Δw والمتمثلة بالمساحة (3-4-0).

بمقارنة كميتي الحرارة المطروحتين في المكثف في كلتا الدورتين نرى أن كمية الحرارة المطروحة عبر المكثف في حالة استعمال ممدد توربيني تساوي $q_c=q_o+w$ أما في حالة استعمال صمام التمدد فتساوي:

$$q_c = q_o - \Delta q_o + w + \Delta w$$

ومنه:

$$\Delta w = \Delta q_o \text{ :أي } \Delta w - \Delta q_o = o$$

مما سبق نستنتج أن العمل الذي خسرناه نتيجة استبدال الممدد التوربيني بصمام تمدد يعادل التأثير التبريدي الذي خسرناه من الدورة وبالتالي فإن معامل التبريد للدورة في حالة استخدام ممدد يكون أكبر من معامل التبريد في حال استبدال الممدد بصمام تمدد.

تتأثر قيمة الفقد (ضياع القدرة) في صمام الخنق بالخواص الفيزيائية لوسيط التبريد- الحرارة النوعية للسائل - حرارة التبخر - البارامترات الحدية).

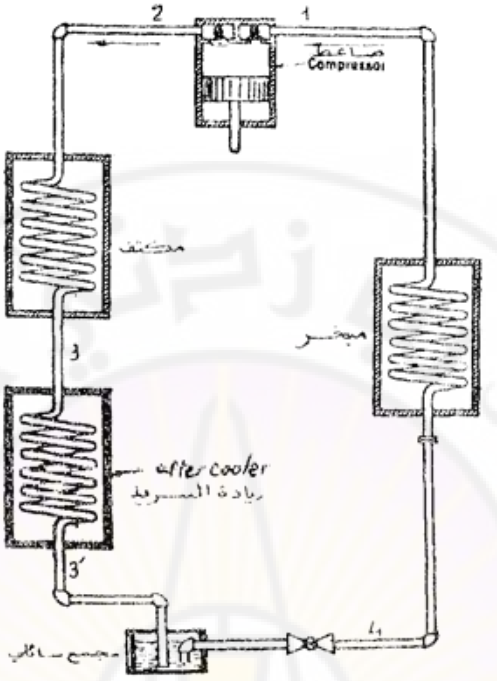
وعلى سبيل المثال تكون قيمة الضياع الناتجة عن عملية خنق الأمونيا أخفض من قيمة الضياع الحاصل عند خنق الفريون R-12 . أكبر ضياع يحصل عند خنق غاز الفحم والسبب في ذلك هو أن عملية خنق غاز الفحم تتم بالقرب من النقطة الحرجة والتي تكون عندها قيمة حرارة التبخر منخفضة جدا لأن المنحنيات الحدية لغاز الفحم أكثر انحداراً من مثيلاتها بالنسبة لبقية وسائط التبريد المستعملة.

إضافة إلى ما سبق تتبع قيمة ضياع الخنق لمجال درجات الحرارة الذي يتم الإجراء عبره وكلما صغرت قيمة مجال درجات الحرارة صغرت قيمة الضياع الحاصل ولذلك يتم عملياً تخفيض قيمة هذا الضياع بزيادة تبريد سائل وسيط التبريد بعد المكثف وقبل الدخول إلى صمام التمدد إلى درجة حرارة أخفض من درجة حرارة التكاثف وهذا الأمر يشكل الانحراف الثاني عن دورة كارنو.

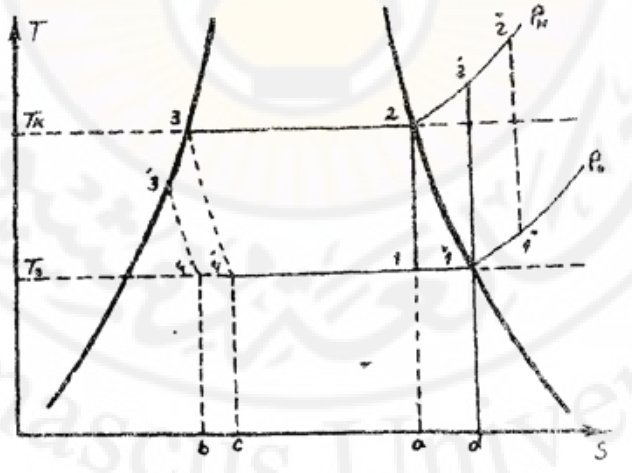
b- الانحراف الثاني: زيادة تبريد سائل وسيط التبريد قبل الدخول إلى صمام التمدد (الشكل 6 - 4).

من الشكل (7-4) نلاحظ أن زيادة تبريد سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف (الإجراء `3-3) تؤدي إلى زيادة التأثير التبريدي بشكل يتناسب مع المساحة (`4-b-c-4) مع الإشارة إلى أن قيمة العمل المصروف في الدورة تبقى ثابتة وبالتالي فإن زيادة التبريد تؤدي إلى زيادة معامل أو مردود آلة التبريد.

إن زيادة تبريد الوسيط العامل للآلات العاملة على الأمونيا يؤدي إلى زيادة الإنتاجية التبريدية بمقدار 0.4% و 0.43% للآلات العاملة على الفريون أما بالنسبة للآلات العاملة على غاز الفحم فهذه الزيادة تصل إلى 1.75%.



الشكل (4-6) دورة التبريد بوجود زيادة تبريد الوسيط العامل



الشكل (4-7) تمثيل تأثير زيادة تبريد الوسيط العامل في مخطط (T-s)

يمكن تحقيق زيادة تبريد الوسيط العامل بعدة طرائق مثل إضافة مبادل حراري بعد المكثف (Aftercooler) أو إجراء عملية زيادة التبريد ضمن المكثف نفسه بوساطة سطح التبادل الحراري للمكثف نفسه ويمكن استعمال مبادل حراري مرجع إذ يتم في الأخير زيادة تبريد سائل التبريد بالاستفادة من أبخرة وسيط التبريد الخارجة من المبخر (أنظر الشكل 8-4) وسندرس فعالية هذه الطريقة في الفقرة (3-4).

c- الانحراف الثالث: زيادة تحميص بخار وسيط التبريد قبل دخوله إلى الضاغط:

يتم تحميص بخار وسيط التبريد الداخل عبر سحب الضاغط للأسباب التالية:

١. عند فرق عالٍ لدرجات الحرارة ما بين سحب ودفع الضاغط تتأثر بعض الأجزاء الحساسة في الضاغط إذ قد يؤدي ذلك إلى حدوث تشوه بشكل خاص في صفائح صمام السحب.
٢. عند زيادة كمية السائل في البخار الداخل إلى الضاغط يؤدي ذلك إلى انخفاض التأثير التبريدي كما يظهر احتمال حدوث صدمة هيدروليكية.
٣. إن دخول نسبة من سائل وسيط التبريد إلى كارتر الضاغط تؤدي إلى تخريب زيت الضاغط.
٤. إن زيادة تبريد الضاغط (دخول بخار ذو درجة حرارة منخفضة) قد تؤدي إلى تجمد مياه التبريد وبالتالي تحطيم قميص الضاغط.

لندرس تأثير زيادة تسخين بخار وسيط التبريد في عمل الدورة ككل:

على مخطط (T-s) الشكل (4-7) تتمثل حالة البخار المشبع بالنقطة 1 والبخار المحمص بالنقطة 1` إذ يتم كلٌ من إجراءي الانضغاط الاديباتي (2′ – 1′) و (2″ – 1″) في منطقة البخار المحمص.

إن الانتقال بشروط سحب الضاغط من النقطة 1 إلى النقطة 1` يؤدي إلى زيادة التأثير التبريدي بمقدار $\Delta q_o$ والمتمثلة بالمساحة (a-1-1`-d) من جهة كما إنه يؤدي إلى زيادة عمل الضاغط بـ Δw (المساحة 1-2-2`-1`) من جهة أخرى.

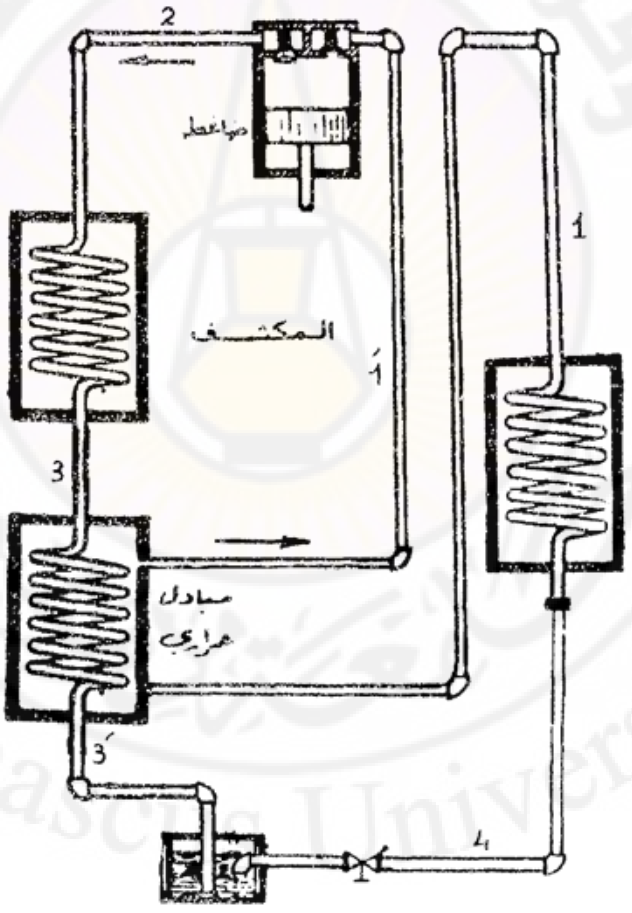
بنتيجة دراسة هذين التأثيرين يتبين لنا أن العمل الإضافي المصروف في الضاغط أكبر من التأثير التبريدي الإضافي المستفاد وبالتالي يتبين أن السحب الجاف غير مريح من ناحية الطاقة ولكنه مفيد من حيث الاستعمال.

يمكن أن تتم عملية زيادة التسخين بإحدى ثلاث طرائق:

١- استعمال مبادل حراري إرجاعي Regenerative ما بين البخار البارد الخارج من المبخر والسائل الساخن الخارج من المكثف (الشكل 8-4).

٢- وضع فاصل سائل بعد المبخر وقبل الدخول إلى الضاغط بتخفيض سرعة المزيج (سائل + بخار) وبالتالي تتساقط حبات السائل في الأسفل إذ يعاد سوقها إلى المبخر للاستفادة منها.

٣- تسخين الأنابيب الواصلة ما بين المبخر والضاغط إذ يمكن أن تكون زيادة التسخين بالنسبة للآلات العاملة على الأمونيا محدودة 5-15°c أما للآلات العاملة على فريون R-12 فيمكن أن تصل إلى 25-30°c.



الشكل (8-4) زيادة التبريد باستعمال مبادل حراري إرجاعي

4 - 4 – طرائق التقليل من الضياعات اللاعكوسة في آلات التبريد البخارية:

كما مر معنا سابقاً فإنه في دورات الآلات التبريدية تظهر ضياعات لاعكوسة مرتبطة بالتبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصادر الحرارية وضياعات مرتبطة بالخنق. هذه الضياعات تزيد بشكل ملموس ضياعات الطاقة للحصول على البرودة.

الشكل (4-9) يبين الدورة (4-3-2-1) ذات الانضغاط الايزونتروبي. الدورة المثالية لهذه الحالة ستكون الدورة (a-b-c-d).

في الدورة ذات صمام الخنق فإن عمل الضاغط w_c يساوي عمل الدورة w ويحدد بالشكل:

$$w_c = w_{min} + \Sigma\Delta w$$

تدخل في قيمة الضياعات $\Sigma\Delta w$ الضياعات الناتجة عن الخنق Δw_0 والضياعات الناتجة عن التبادل الحراري في المكثف $\Delta w''$ والضياعات الناتجة عن التبادل الحراري في المبخر $\Delta w'$، والضياعات في الضاغط Δw_c.

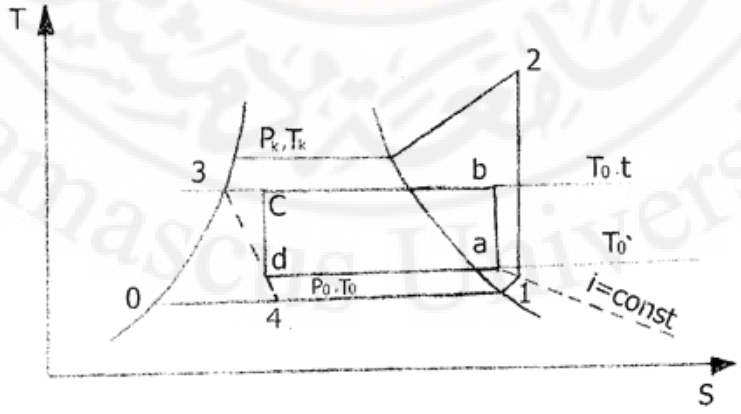
تحديد w_{min} والضياعات المرتبطة بالخنق والتبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصادر الحرارية درسناه في الفصل الثاني.

الضياعات التي تظهر في ضاغط آلة التبريد يمكن أن تحدد بالشكل التالي:

$$w_c = w_{min} + w'' + w' + w_D + w_c \qquad (4\text{-}12)$$

عندئذ:

$$w_c = w_c - w_{min} - w'' - w' - w_D \qquad (4\text{-}13)$$



الشكل (4-9) الدورة المثالية لآلة تبريد ذات مرحلة واحدة

حسابات دورة آلة التبريد البخارية العاملة على R-12 عند T_o=253k ،T_k=298k و $\Delta T = \Delta T_o$ =5°c بينت أن الضياعات اللاعكوسة في الدورة نسبة إلى W_c تتوزع على الشكل التالي:

$$\Delta w_D = 12\% \ ،\ \Delta w_c = 20\% \ ،\ \Delta w'' = 32\% \ ،\ \Delta w' = 28\% .$$

كما هو واضح فإن قسماً كبيراً من الضياع يظهر عند التبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصادر الحرارية.

لندرس وسائل التقليل من الضياعات اللاعكوسة التي تظهر عند التبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصدر الحراري الأدنى، إذا بُرِّد المصدر من درجة حرارة الوسط المحيط To.t إلى درجة حرارة ما نهائية Te. التقليل من الضياعات اللاعكوسة وبالتالي من ضياعات الطاقة عند طرح الحرارة من المصدر ذي درجة الحرارة المتغيرة يمكن أن يتم على حساب التبريد بمراحل بمساعدة عدة آلات. المخطط الذي يضم آلتين ودورتيهما موضح على الشكل (4-10). نفرض أن كلتا الآلتين تحويان وسيط التبريد نفسه.

في حالة عمل آلة واحدة (الدورة 4-3-2-1) فإن مصروف العمل لتبريد المصدر من To.t وحتى Te يمكن أن يحدد من علاقة العامل التبريدي:

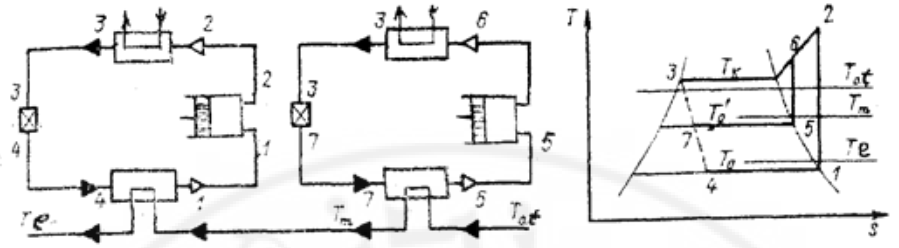
$$\varepsilon_{1-2-3-4} = \frac{Q_o}{W}$$

$$W = \frac{Q_o}{\varepsilon_{1-2-3-4}} = \frac{CG(T_{o.t} - T_e)}{\varepsilon_{1-2-3-4}} = \frac{CG(T_{o.t} - T_m)}{\varepsilon_{1-2-3-4}} + \frac{CG(T_m - T_e)}{\varepsilon_{1-2-3-4}}$$

إذ : C- الحرارة النوعية للمصدر

G- التدفق الكتلي (المصروف الكتلي) للمصدر المبرد

T_m- درجة الحرارة البينية



الشكل (4-10) مخطط ودورة محطة مؤلفة من آلتي تبريد

نعدّ أن G و C ثابتتان. عند استعمال آلتي التبريد (انظر الشكل) يمكن بمساعدة الآلة التي تعمل حسب الدورة (5-6-3-7) تبريد التيار من $T_{o.t}$ إلى T_m، وبمساعدة الآلة الثانية التي تعمل حسب الدورة (1-2-3-4) طرح الجزء المتبقي من الحرارة وتبريد المصدر حتى درجة الحرارة النهائية T_c. العمل المبذول في هذه الحالة يحدد بالمعادلة التالية:

$$\Sigma W = W_{5-6-3-7} + W_{1-2-3-4} = \frac{CG(T_{o.t} - T_m)}{\varepsilon_{5-6-3-7}} + \frac{CG(T_m - T_c)}{\varepsilon_{1-2-3-4}} \qquad (4\text{-}14)$$

بما أنه بمساعدة آلة التبريد العاملة حسب الدورة (5-6-3-7)، يتم نقل الحرارة في مجال درجات حرارة أقل منه لآلة التبريد العاملة حسب الدورة (1-2-3-4)، فإن $\varepsilon_{5-6-3-7} > \varepsilon_{1-2-3-4}$، ولذلك فإن جزءاً من حرارة المصدر تطرح عند معامل تبريد أكبر وهذا يسمح بالتقليل من مصاريف الطاقة أي أن: $\Sigma W < W$.

درجة الحرارة البينية المثلى T_m^{opt} تحدد بالشرط:

$$\frac{d\Sigma W}{dT_m} = o \qquad (4\text{-}15)$$

إذا استخدمت العلاقات:

$$\varepsilon_{5-6-3-7} = \psi' \frac{T'_o}{T_{o.t} - T'_o} \; ; \varepsilon_{1-2-3-4} = \psi \frac{T_o}{T_{o.t} - T_o} \qquad (4\text{-}16)$$

إذ: ψ', ψ – معاملات يمكن عدّها ثابتة عملياً في مجال كاف لدرجة الحرارة.

وإذا عددنا إن $T_m - T`_o = \Delta T = const$ يمكن إن نكتب العلاقة (4-14) بالشكل:

$$W = \frac{CG(T_{o.t} - T_m)[T_{o.t} - (T_m - \quad TT)}{'(T_m - \quad TT} + \frac{CG(T_m - T_{ot})(T_{o.t} - T_o)}{T_o} \qquad (4\text{-}17)$$

لذلك عند الشرطين $\psi = \psi'$ و $\Delta T=o$ نحل المعادلة (4-15)، بعد تبديل ΣW من المعادلة (4-17)، وفي النتيجة نحصل على درجة الحرارة البينية المثلى:

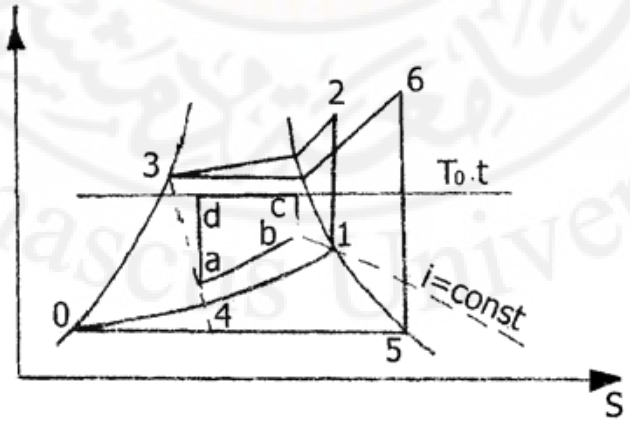
$$T_m^{opt} = \sqrt{T_{o.t}\, T_o} \qquad (4\text{-}18)$$

رأينا سابقاً أنه عند سحب بخار جاف مشبع (أو محمص) إلى الضاغط فإن درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط تصبح أكبر من درجة حرارة الوسط المحيط – هذا يؤدي إلى مصاريف إضافية للعمل في الدورة Δwl. هذا العمل الإضافي يمكن أن يستخدم بوضع مبادل حراري بين الضاغط والمكثف، إذ يمكن تسخين الماء واستعماله للعمليات التقنية. إن مثل هذه الدورة تعطي فعالية اقتصادية ملموسة. هناك طريقة أخرى للتقليل من الضياعات اللاعكوسة المرتبطة بالتبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصادر الحرارية الخارجية، وهي استخدام المحاليل ذات المركبين كوسائط تبريد في آلات التبريد البخارية.

إن دورة مثل آلة التبريد هذه موضحة على الشكل (4-11).

على هذا الشكل مُثِّل إجراء تبريد المصدر الحراري الأدنى (b-a).

عمل الدورة (4-2-3-1) سوف يكون مكافئاً للمساحة (1-0-3-2-1).الدورة المثالية لهذه الحالة ستكون (a-b-c-d) التي يكون العمل فيها مكافئاً للمساحة (a-b-c-d).



الشكل (4-11) دورة آلة التبريد البخارية العاملة على محلول مكون من أكثر من مركب

معامل العكوسية للدورة (4-3-2-1) يساوي:

$$\eta_{rev1} = \frac{(a-b-c-d)\text{المساحة}}{(1-2-3-0-1)\text{المساحة}} \qquad (4\text{-}19)$$

فيما لو استخدم في آلة التبريد وسيط مكون من مركب واحد، فإن دورة مثل هذه الآلة (7-6-3-5) (مبينة شرطياً). ومعامل اللاعكوسية لهذه الدورة:

$$\eta_{rev2} = \frac{(a-b-c-d)\text{المساحة}}{(5-6-3-0-5)\text{المساحة}} \qquad (4\text{-}20)$$

بما أن المساحة (5-6-3-0-5) أكبر من المساحة (1-2-3-0-1) فإن:

$$\eta_{rev1} > \eta_{rev2} \qquad (4\text{-}21)$$

في الحالة المدروسة عُدّت درجة حرارة الوسط المحيط ثابتة.

من الناحية الفعلية عندما يستخدم الماء أو الهواء كوسط محيط بكميات محدودة فإن $T_{o.t}$ تكون متغيرة، وفي هذه الحالة فإن الربح يكون أكبر.

وقد بينت الدراسات التي أجريت في قسم آلات التبريد في معهد لينينغراد التكنولوجي للصناعات التبريدية أنه على سبيل المثال عند المعالجة التبريدية للمنتجات في مصنع للحليب فإن استبدال نظام التبريد العادي بآلة تبريد تعمل على خليط من الفريونات R12 و R11 يسمح بالحصول على اقتصادية في الطاقة الكهربائية تصل حتى 40% من استطاعة قيادة الضاغط.

كما كان موضحاً سابقاً (انظر الفقرة 3-2)، فإن الضياعات اللاعكوسة مرتبطة بالتبادل الحراري، فعند تقليل فرق درجات الحرارة بين وسيط التبريد والمصادر الخارجية سوف تقل هذه الضياعات. لذلك فإن استخدام أجهزة تبادل حراري ذات تبادل حراري مكثف يعدّ إحدى طرائق الاقتصاد بالطاقة عند الحصول على البرد الاصطناعي.

لندرس بالتفصيل طرائق التقليل من الضياعات اللاعكوسة المرتبطة بالخنق، التي ورد ذكرها في الفقرة (4-2-2).

على الشكل (4-12) يتضح المخطط الرمزي والدورة في محاور T-s و i-S لآلة تبريد ذات مبادل حراري لتبريد وسيط التبريد السائل قبل صمام الخنق. في هذا المخطط سائل وسيط التبريد بعد المكثف II يبرّد في مبادل حراري III بالماء. الماء يدفع إلى المبادل الحراري من الآبار الارتوازية عادة. يمكن إن يتم التبريد أيضاً باستخدام الماء الدائر (أو من الشبكة)، عند ذلك يدخل الماء أولاً إلى المبادل الحراري وبعد ذلك يوجه إلى المكثف.

كما هو واضح في الشكل (4-12) عند تبريد وسيط التبريد قبل صمام الخنق (الإجراء 4-3) فإن الإنتاجية التبريدية النوعية تزداد بمقدار Δq_o، وهذا يعني أن معامل التبريد أيضاً يزداد وذلك لأن عمل الدورة لا يتغير.

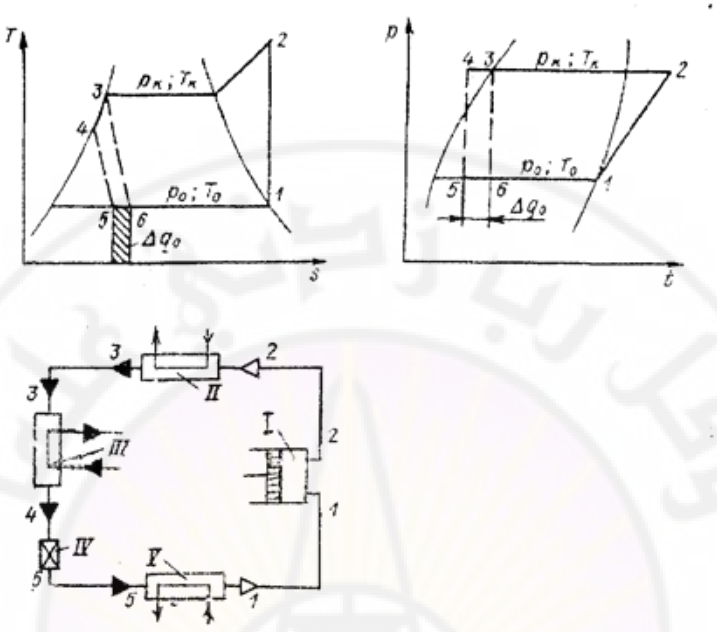
$$\varepsilon_1 = \frac{i_1 - i_6 + \Delta q_o}{i_2 - i_1} > \varepsilon_2 = \frac{i_1 - i_6}{i_2 - i_1} \qquad (4\text{-}22)$$

باستخدام الطريقة المذكورة أعلاه يمكن أن نجد أن الضياعات اللاعكوسة للخنق عند التبريد تنخفض وأن $\eta_{rev1} > \eta_{rev2}$.

يتبقى علينا أن نشير إلى أن الضياعات اللاعكوسة المتعلقة بطرح الحرارة من وسيط التبريد في المبادل الحراري لا تؤخذ بالحسبان نظراً لصغرها.

إن تبريد سائل وسيط التبريد قبل صمام الخنق الوارد ذكره في الفقرة (4-2-2) يمكن أن يتم على حساب البخار البارد القادم من المبخر، أي باستخدام الإرجاع. إن مخطط ودورة آلة التبريد الإرجاعية على محاور p-i و T-s موضح على الشكل (4-12). في هذا المخطط البخار البارد لوسيط التبريد الخارج من المبخر بالحالة a يتجه إلى المبادل الحراري الإرجاعي إذ يسخن(الإجراء a-1) على حساب وسيط التبريد الساخن الخارج من المكثف، والذي يبرد عند ذلك (الإجراء 4-3).

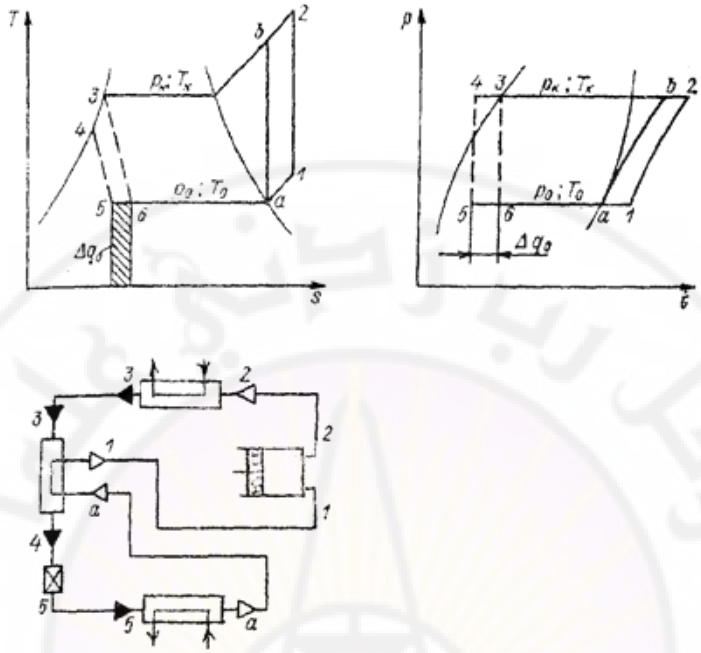
بنتيجة الإرجاع فإن الإنتاجية التبريدية النوعية تزداد بمقدار $\Delta q_o = i_6 - i_5$، ولكن في الوقت نفسه يزداد عمل الضاغط بمقدار Δw_c و التي تساوي المساحة (a-b-2-1-a).



الشكل (12-4) مخطط ودورة آلة التبريد البخارية مع زيادة تبريد وسيط التبريد

فعالية هذه الطريقة تتعلق بالنسبة $\frac{\Delta q_o}{\Delta w_c}$ أي بالخواص الترموديناميكية لوسيط التبريد (انظر الفصل الثالث). لذلك الدورة الإرجاعية تستخدم لوسائط التبريد ذات الضياعات الكبيرة نسبياً والمرتبطة بالخنق، وذات الضياعات القليلة نسبياً والمرتبطة بزيادة تسخين (تحميص) وسيط التبريد. إن معظم الفريونات تتمتع بالصفات المذكورة هذه.بالنسبة لوسائط التبريد التي تكون فيها الضياعات الناتجة عن زيادة التسخين كبيرة، مثلاً الأمونيا يستخدم مخطط مع مبادل حراري يعمل على الماء.

كما أشرنا في الفصل الثالث فإن معظم الفريونات تتمتع بخاصية انحلالية جيدة مع الزيت، لذلك من أجل آلات التبريد العاملة على الفريونات ذات الضواغط المكبسية فإن تحميص البخار قبل سحبه إلى الضاغط ذو أهمية كبيرة. عند ذلك يتم فصل شبه كامل للزيت، وبنتيجة ذلك فإن المعاملات الطاقية والحجمية للضاغط تتحسن.



(الشكل13-4) مخطط ودورة آلة تبريد مع الإرجاع

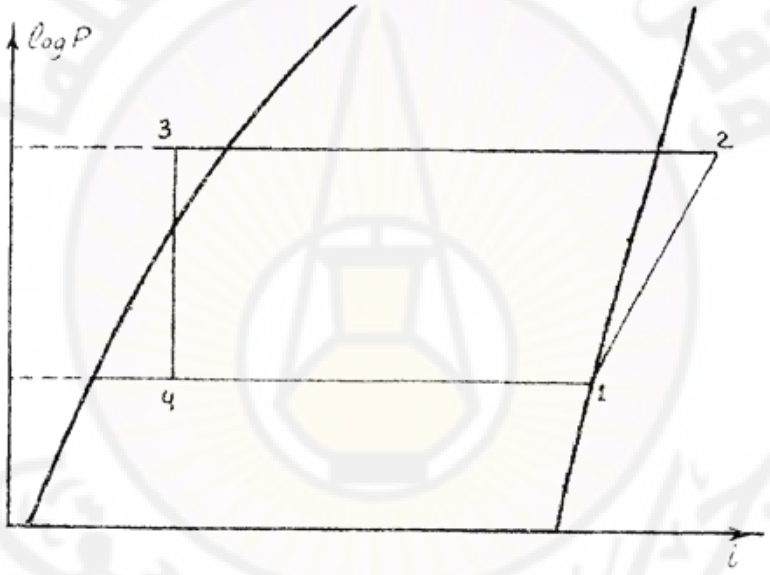
عند غياب تحميص (زيادة التسخين) وسيط التبريد قبل السحب إلى الضاغط يمكن أن تعلق بالبخار قطرات من الزيت وقطرات من وسيط التبريد. وفي إجراء التمدد العكسي في الضاغط يتم فصل وسيط التبريد عن قطرات الزيت ويقل الحجم المفيد للسحب. قطرات وسيط التبريد السائلة الخارجة من المبخر تقلل من الإنتاجية التبريدية للآلة ويمكن أن تؤدي إلى الصدمة الهيدروليكية، لذلك فإن المبادل الإرجاعي يحمي أيضاً الضاغط المكبسي لآلة التبريد من الصدمة الهيدروليكية. علاوة على ذلك فإن دخول قطرات الزيت ووسيط التبريد السائل يزيد من شدة التبادل الحراري بين البخار وجدران اسطوانة الضاغط ويؤدي إلى ضياعات إضافية.

بهذا الشكل فإن استخدام الإرجاع وتحميص وسيط التبريد قبل سحبه إلى الضاغط في آلات التبريد العاملة على الفريونات وذات الضواغط المكبسية له محاسن ترموديناميكية واستثمارية.

5 - 4 – الحسابات النظرية الأساسية لآلة تبريد ضاغطة بخارية بمرحلة واحدة:

Basic theoretical calculation for single stage vapors refrigeration machine

لكي نتمكن من إجراء الحسابات النظرية لآلة تبريد فإنه من الضروري تحديد درجة الحرارة الخارجية (الوسط الخارجي المحيط) ودرجة حرارة الوسط المبرّد (الوسط المراد تبريده) وكذلك معرفة الإنتاجية التبريدية لهذه الآلة Q_0.



الشكل (14-4) تمثيل دورة التبريد على مخطط i-logP

في حالة كون الوسط المحيط هو الماء فإن درجة حرارة التكاثف تؤخذ بمعدل (5-8°c) أعلى من درجة الحرارة الوسطية للماء، أما في حالة كون الوسط المحيط هو الهواء، عندها تؤخذ درجة حرارة التكاثف من 10 إلى 12°c أعلى من درجة حرارة الهواء الداخل.

عندما يكون الوسط المبرد هو الماء فيجب أن تؤخذ درجة حرارة غليان وسيط التبريد أقل من درجة حرارة الماء الوسطية بـ(5-8°c)، أما في حالة كون وسط المبرد ذا طبيعة غازية فيجب أن تكون درجة حرارة الغليان أقل من درجة حرارة الغاز المحيط بمعدل (10÷12 °C)

فيما يلي خطوات الحساب للآلة التبريدية:

a- لدينا الإنتاجية التبريدية لـ 1kg من وسيط التبريد الدوار في آلة التبريد (الإنتاجية التبريدية النوعية)

$$q_o = i_1 - i_4 \qquad (4\text{-}23)$$

b- تحسب كمية وسيط التبريد الدائر في آلة التبريد بالمعادلة:

$$G = \frac{Q_o}{q_o} \qquad (4\text{-}24)$$

c- يتحدد الحجم الفعلي لبخار وسيط التبريد الداخل إلى الضاغط بالمعادلة:

$$V = G.v_o = \frac{Q_o}{q_o} v_o \qquad (4\text{-}25)$$

مع ملاحظة أن $q_v = q_o / v_o$ تسمى بالإنتاجية التبريدية الحجمية النوعية لـ $1m^3$ بخار.

d- يتحدد العمل النظري للضاغط بالمعادلة:

$$W_c = G\,(i_2 - i_1) \qquad (4\text{-}26)$$

أما العمل الفعلي للضاغط فيتحدد بالمعادلة:

$$W_{c.act} = \frac{W_c}{\eta_c} \qquad (4\text{-}27)$$

إذ: η_c مردود الضاغط.

e- يتحدد معامل التبريد الفعلي (أو مردود آلة التبريد) بالمعادلة:

$$\varepsilon_{c.act} = \frac{Q_o}{W_{c.act}} \qquad (4\text{-}28)$$

f- تحسب كمية الحرارة المطروحة عبر المكثف بالمعادلة:

$$Q = G\,(i_2 - i_3) \qquad (4\text{-}29)$$

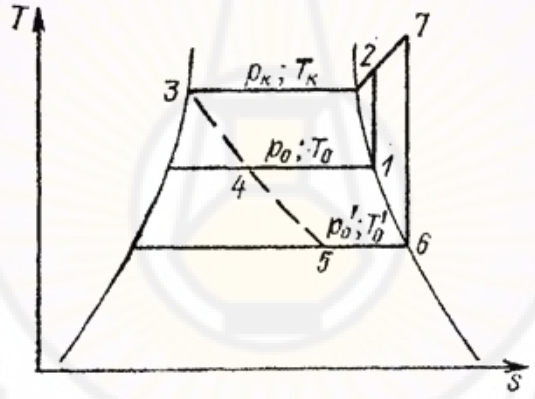
6 - 4 - الدورات والمخططات الرمزية لآلات التبريد البخارية المتعددة المراحل:

Multi Stage Vapor Refrigeration Machines

1 - 6 - 4 – أسباب الإنتقال إلى الانضغاط المتعدد المراحل:

عند انخفاض درجة حرارة غليان وسيط التبريد أو ارتفاع درجة حرارة تكاثفه يزداد مستوى ارتفاع الضغط P_k/P_o وفرق الضغط $(P_k - P_o)$ وهذا يؤدي إلى الإساءة للمعاملات الطاقية والحجمية للضواغط، مما يزيد من التكاليف التأسيسية والاستثمارية للحصول على التبريد الاصطناعي عند استخدام آلات التبريد البخارية وحيدة المرحلة.

ازدياد مستوى ارتفاع الضغط في الضاغط يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الدفع وهذا قد يؤدي إلى تشوهات حرارية غير مسموحة، واحتراق الزيت في صمامات دفع الضاغط. بازدياد مستوى ارتفاع الضغط تنخفض الإنتاجية التبريدية النوعية للدورة وهذا موضح على الشكل(15-4). في الدورة (4-3-2-1) فإن الإنتاجية التبريدية $q_o = i_1 - i_4$، وفي الدورة (5-3-7-6) تكون $q'_o = i_6 - i_5$. من الواضح أن $q_o > q'_o$.



الشكل (15-4) تأثير مستوى ارتفاع الضغط في صفات الدورة

بازدياد النسبة P_k/P_o تزداد الضياعات اللاعكوسة عند الخنق كما لاحظنا ذلك في الفصل الثاني، وكذلك تزداد الضياعات المرتبطة بطرح حرارة تحميص وسيط التبريد.

كل العوامل المذكورة أعلاه تعدّ أسباب لضرورة تعدد مراحل الانضغاط عند $P_k/P_o \geq 8$. ولكن هذه النسبة لا تعدّ ثابتة دائماً وتتعلق ببعض الشروط مثل نوع وسيط التبريد، نوع الضاغط والأجهزة، وبدرجة حرارة المصادر الخارجية.

لتخفيض قيمة العمل المبذول في مراحل الانضغاط يجب الاقتراب ما أمكن من خط الانضغاط الإيزوترمي وبالتالي الحصول على أعلى قيمة لمردود الانضغاط. عملياً يتم تحقيق

ذلك باستخدام المبردات البينية (بين مراحل الانضغاط) والتي تستفيد من غليان جزء من وسيط التبريد.

2 - 6 - 4 - تأثير الانضغاط والخنق المتعددي المراحل في الضياعات اللاعكوسة في الدورة:

كما أشرنا أعلاه بارتفاع النسبة P_k/P_o تزداد الضياعات عند الخنق. البخار المتشكل عند الخنق يدخل إلى المبخر دون أن يشكل أثراً تبريدياً مفيداً، عدا عن أنه يتطلب بذل عمل لانضغاطه في الضاغط. علاوة على ذلك فإن هذا البخار يسيء إلى عملية التبادل الحراري عند غليان وسيط التبريد وهذا بدوره يؤدي إلى ازدياد الضياعات اللاعكوسة. كلما ازداد فرق درجات الحرارة ($T_k - T_o$) ازدادت كمية البخار المتشكل عند الخنق، وبالتالي تزداد حصة العمل المبذولة لانضغاط هذا البخار.

لذلك من غير المناسب إجراء الخنق الترموديناميكي عند الانخفاض الكامل للضغط من P_k وحتى P_o، بل تقسيم هذا الانخفاض إلى عدة أجزاء (الشكل 4-16,a) عند ذلك بعد كل مرحلة خنق من الضروري أخذ البخار المتشكل عن الخنق وضغطه في الضاغط كما هو موضح على الشكل (4-17). لندرس كيف يؤثر الخنق المرحلي مع أخذ البخار في عمل انضغاط وسيط التبريد.

نجزئ شرطياً عمل انضغاط بخار وسيط التبريد إلى جزأين:

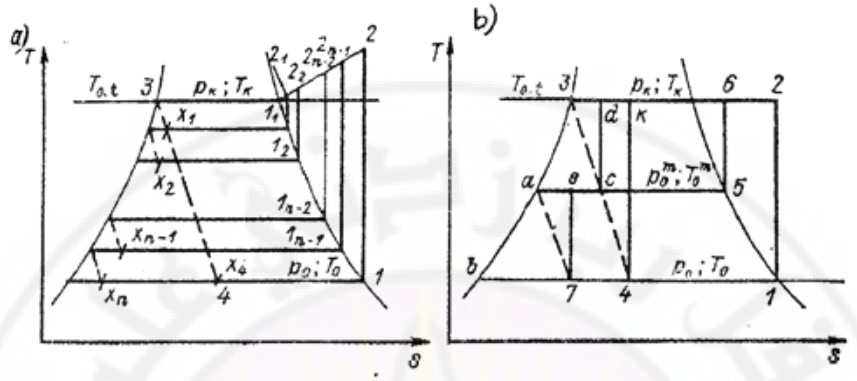
$$w_c = w'_c + w''_c \qquad (4\text{-}30)$$

إذ: w'_c – العمل المصروف لانضغاط بخار وسيط التبريد المتشكل في عملية الخنق (مرة واحدة أو عدة مرات).

w''_c – العمل المصروف على انضغاط بخار وسيط التبريد المتشكل عند الغليان في المبخر.

لنقارن w'_c عند الخنق بمرة واحدة وبعدة مرات. إذا كانت كمية سائل وسيط التبريد القادمة من المكثف إلى صمام الخنق الأول ١ كغ بالحالة (3) فإن نتيجة الخنق يتشكل x_1 (kg) من البخار، وإن x_1 أصغر بكثير من x_4. إضافة إلى ذلك فإن انضغاط (x kg) من البخار يتم في مجال أصغر للضغط، أما العمل المصروف لانضغاطه يساوي:

$$\boxed{\quad} x_1$$



الشكل (16 - 4) الانضغاط والخنق المتعددي المراحل في مخطط T-s

هذا العمل أصغر بكثير من العمل الذي كان يتوجب صرفه عند انضغاط ($x_1$kg) من البخار من الضغط P_o حتى الضغط P_k. أضف إلى ذلك فإن (xkg) من البخار يبرد بعد الانضغاط إلى درجة حرارة التكاثف من الحالة 2_1 وليس من الحالة 2، أي إن عملية التبادل الحراري بين وسيط التبريد والوسط المحيط تتم عند فرق أقل لدرجة الحرارة.

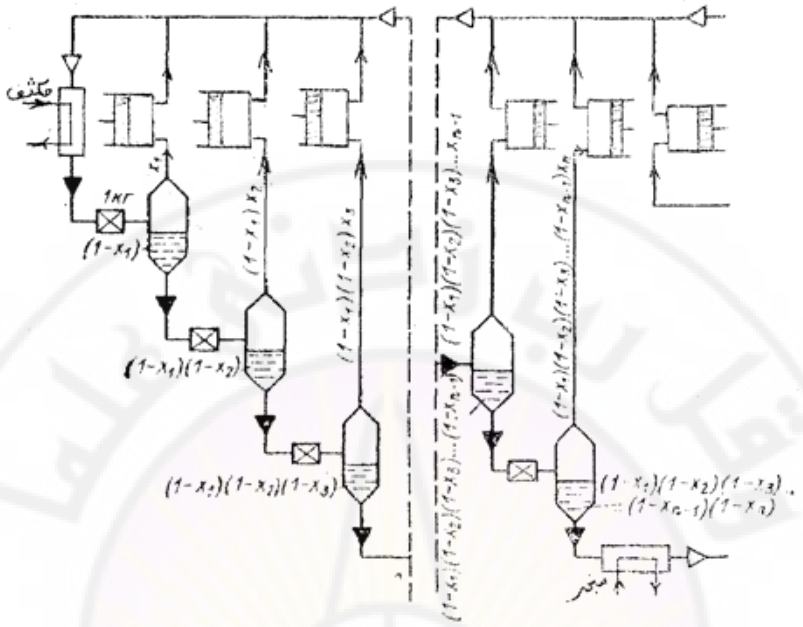
كمية الحرارة المطروحة في هذه العملية إلى الوسط المحيط أقل، وهذا يؤدي إلى التقليل من الضياعات اللاعكوسة في هذه العملية.

إلى الصمام الثاني للخنق يدخل ($1-x_1$) كغ من وسيط التبريد السائل، وعندئذ تتشكل بعد الخنق الثاني كمية بخار تساوي x_2 ($1-x_1$).

بالرغم من أن انضغاط هذا البخار يتم في مجال ضغط أكبر منه لـ x_1، إلى أن العمل المبذول لانضغاطه $x_2(1-x_1)(i_{2_2}-i_{1_2})$ أصغر بكثير من العمل الذي كان يجب أن يصرف لانضغاط هذا البخار من الحالة (1) إلى الحالة (2)، أي في المجال الكامل للضغط من P_o وحتى P_k. في هذه الحالة أيضاً تقل الضياعات اللاعكوسة عند طرح حرارة التحميص.

بهذا الشكل:

$$x_1(i_{21}-i_{11})+(1-x_1)x_2(i_{21}-i_{12})+\ldots+(1-x_{n-1})x_n\times(i_2-i_1)<x_4(i_2-i_1) \qquad (4\text{-}31)$$



الشكل (4-17) مخطط الانضغاط والخنق المتعدي المراحل

أي إن العمل المصروف لانضغاط البخار المتشكل عند الخنق لمرات متعددة وعند أخذه وانضغاطه مرحلياً أقل من العمل المصروف لانضغاط البخار المتشكل عند الخنق مرة واحدة.

من أجل ذلك لتوضيح العلاقة بين العمل w''_c المصروف على انضغاط وسيط التبريد المتشكل عند الغليان في المبخر عند الخنق بمرة واحدة والعمل w''_c عند الخنق المرحلي (بعدة مرات)، من الضروري أن نحدد فيما إذا كانت تتغير كمية سائل وسيط التبريد القادمة إلى المبخر عند طرائق الخنق المختلفة، وذلك لأن عمل الانضغاط النوعي من الضغط P_o حتى الضغط P_k في كلتا الحالتين واحد.

لنناقش اللا مساواة التالية:

$$(1-x_1)(1-x_2)(1-x_3)...(1-x_{n-1})(1-x_n) < 1-x_1 \qquad (4\text{-}32)$$

الجزء الأيسر من هذه اللا مساواة هو كمية سائل وسيط التبريد القادمة إلى المبخر عند الخنق المرحلي، أما الجزء اليميني فيعبر عن كمية سائل وسيط التبريد القادمة إلى المبخر عند الخنق بمرة واحدة فقط.

إذا أهملنا القدرة الحركية التي تُنقل مع البخار إلى كل من الضواغط عند الأخذ المرحلي، فإن عملية الخنق المرحلية عند مخرج السائل يمكن إن تناقش كمجموع عمليات الخنق التفاضلية بالمقارنة مع مجال عملية الخنق (4-3)، وبالتالي اللا مساواة (4-32) تتحول إلى مساواة، أي إن:

$$(1-x_1)(1-x_2)(1-x_3)...(1-x_{n-1})(1-x_n) = 1-x_4 \qquad (4\text{-}33)$$

بينت الحسابات التي أجريت مع حساب الطاقة الحركية المنقولة مع البخار عند الخنق المرحلي أن الجزء الأيسر في اللا مساواة (4-32) يزداد بشكل قليل جداً بالمقارنة مع الجزء الأيمن وهذا ليس ذا قيمة عملية. بالتالي العمل w''_c المصروف لضغط بخار وسيط التبريد المتشكل عند الغليان في المبخر في الدورات التي يتم فيها الخنق مرة واحدة أو عدة مرات (مرحلي) متساو.

بما أن w'_c عند الخنق المرحلي وفقاً للعلاقة (4-31) أقل من w_c عند الخنق بمرة واحدة، لذا فإن العمل المبذول لانضغاط وسيط التبريد w'_c في الدورة ذات الخنق المرحلي يصبح أقل منه في الدورة ذات الخنق بمرة واحدة.

لندرس كيف يؤثر الانضغاط المتعدد المراحل في الضياعات اللاعكوسة عند الخنق.

الشكل (4-16,b) يبين الدورة (4-3-2-1) مع خنق بمرة واحدة. في هذه الدورة جميع الإجراءات عكوسة ماعدا إجراء الخنق (4-3). الضياعات اللاعكوسة المرتبطة بالخنق تعادل المساحة (4-k-3-b-4).

لنبدل بالخنق بمرة واحدة الخنق مرتين. وفي هذه الحالة في نهاية الإجراء الأول للخنق (3-c) يتشكل ($x_c Kg$) بخار يُسحب بوساطة ضاغط مرحلي.

الضياعات اللاعكوسة لإجراء الخنق (3-c) تعادل المساحة (c-d-3-a). السائل المتبقي بعد الخنق الأول في الحالة (a) يُخنق مرة ثانية (الإجراء 7-a). كمية هذا السائل تساوي ($1-x_c$) كغ.

الضياعات اللاعكوسة التي تنتج في الإجراء (a-7) تكافئ المساحة (7-e-a-b) مضروبة بـ$(1-x_c)$. بهذا الشكل فإن مجموع الضياعت اللاعكوسة عند الخنق مرتين يعادل:

المساحة (c-d-3-a)+ المساحة(7-e-a-b)×$(1-x_c)$

بما أن $x_c<1$ فإن مجمل المساحة أقل من المساحة (4-k-3-b-4). وبالتالي عند تبديل بإجراء الخنق بمرة واحدة الخنق المتعدد المراحل مع الأخذ المرحلي للبخار تقل الضياعات الناتجة عن الخنق.

وبهذا الشكل عند الخنق عدة مرات يقل العمل اللازم لانضغاط وسيط التبريد، وتقل الضياعات اللاعكوسة مثلاً عند التبادل الحراري بين وسيط التبريد والمصدر الحراري الأدنى، وعند طرح حرارة التحميص، وعند الخنق.

الدورات ذات الخنق الواحد وذات الخنق المتعدد تدرس عند مصادر خارجية واحدة، لذلك فإن عمل الدورة المثالية لهذه الدورات يكون متساوياً، وبما أن الضياعات اللاعكوسة للدورة ذات الخنق المتعدد أقل منه للدورات الخنق الواحد فإن معامل العكوسية للدورة المتعددة الخنق $\eta_{rev} = \frac{w_{min}}{w_{min} + \sum \Delta w}$ يكون أكبر منه للدورة ذات الخنق الواحد.

3 - 6 - 4 – اختيار الضغط البيني:

يؤثر الضغط البيني P_m في دورات آلات التبريد ثنائية المراحل في اقتصادية الأخيرة. وهناك عدة طرائق لاختيار P_m، سوف ندرس الآن بعضها.

الضغط البيني يمكن أن يتم اختياره من شرط مجمل العمل الأصغري للضواغط w_c. عند عمليات الانضغاط الايزونتروبية فإن مجمل العمل في كلتا المرحلتين يعطى بالعلاقة:

$$w_c = \frac{k}{k-1} P_o v_I \left[\left(\frac{P_m}{P_o}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] + \frac{k}{k-1} P_m v_{II} \left[\left(\frac{P_k}{P_m}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \qquad (4\text{-}34)$$

إذ: v_I و v_{II}– الحجمان النوعيان لوسيط التبريد عند السحب في المرحلتين الأولى والثانية بالتتالي.

إذا كانت درجة حرارة وسيط التبريد عند سحب الضاغط المرحلتين الأولى والثانية متساوية ، وإذا كان الوسيط يخضع لقانون الغازات المثالية فيمكن كتابة التالي:

$$P_o v_I = P_m v_{II} = R T$$

وعندئذٍ:

$$w_c = \frac{k}{k-1} RT[(\frac{P_m}{P_o})^{\frac{k-1}{k}} + (\frac{P_k}{P_m})^{\frac{k-1}{k}} - 2] \qquad (4\text{-}35)$$

من أجل تحديد P_m الذي يكون عنده العمل ذا قيمة أصغرية، نشتق العمل في العلاقة (4-35) بالنسبة لـ P_m ونساوي المشتق بالصفر:

$$\frac{dw_c}{dP_m} = \frac{k}{k-1} RT[P_o^{\frac{1-k}{k}} \frac{k-1}{k} P_m^{-\frac{1}{k}} + P_k^{\frac{k-1}{k}} \frac{1-k}{k} P_m^{\frac{1-2k}{k}}] = o$$

وبالتالي:

$$P_o^{\frac{1-k}{k}} P_k^{\frac{1-k}{k}} = P_m^{2(\frac{1-k}{k})}$$

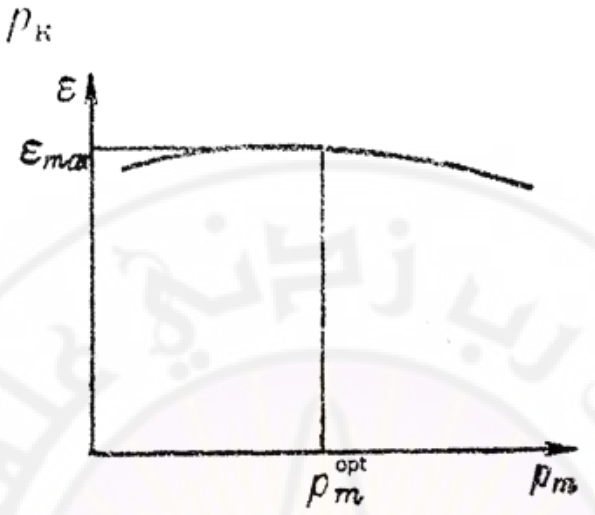
ومنه نجد أن:

$$P_m = \sqrt{P_o P_k} \qquad (4\text{-}36)$$

إن وسيط التبريد لايعدّ غازاً مثالياً ودرجة حرارة السحب إلى المرحلتين الأولى والثانية مختلفتان، لذلك فإن تحديد P_m حسب العلاقة (4-36) يعدّ تقريبياً. الطريقة الأكثر دقة في تحديد P_m هي طريقة تحديده على أساس معامل التبريد الأعظمي لآلة التبريد الثنائية المرحل. من أجل ذلك من الضروري في البداية تحديد P_m حسب العلاقة (4-36) عند الضغطين المعطيين P_o و P_k وإيجاد معامل التبريد للدورة. بإعطاء قيم للضغط البيني أكبر وأصغر من P_m المحسوب باستخدام العلاقة (4-36) تُحسب قيم جديدة لمعامل التبريد الموافق.

بعد ذلك تمثل العلاقة $\varepsilon = f(P_m)$ الشكل (4-18). وباستخدام هذه العلاقة يتم تحديد القيمة الأعظمية لمعامل التبريد ε_{max}. الضغط البيني الموافق لـ ε_{max} يعدّ الضغط الأمثل لأجل الضغطين المعطيين P_o و P_k.

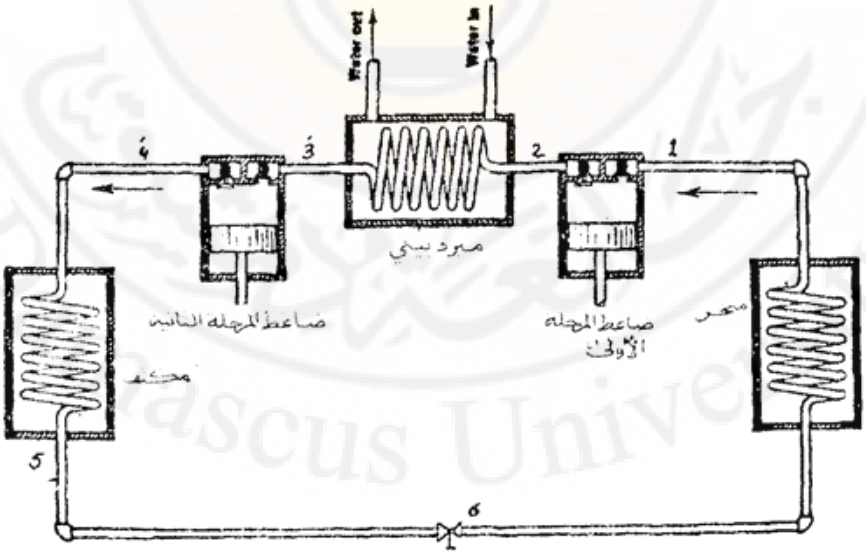
لتبسيط حسابات آلات التبريد ثنائية المرحلة تستخدم العلاقة (4-36)، أما للحسابات الأكثر دقة من الضروري استخدام طريقة تحديد P_m حسب معامل التبريد الأعظمي.



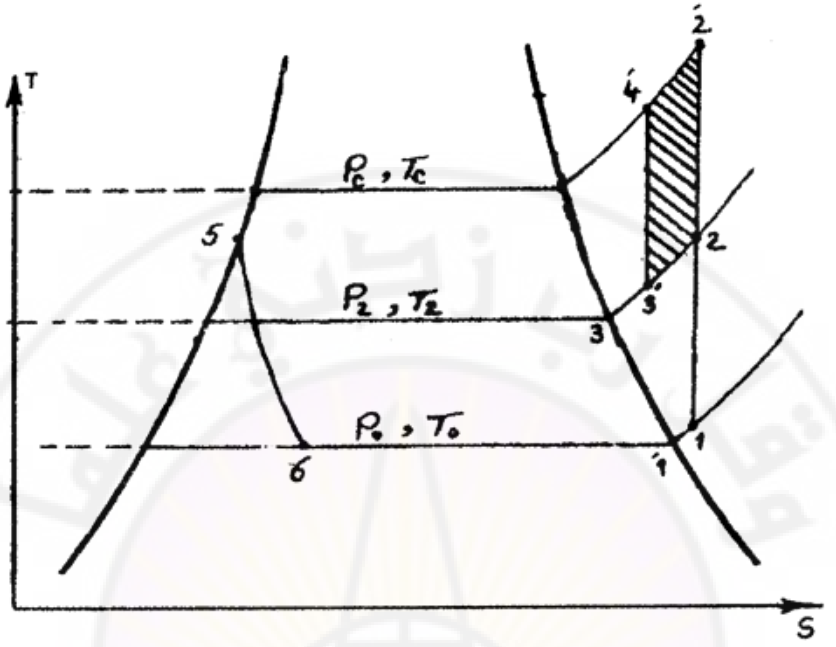
الشكل (18-4) تحديد الضغط البيني الأمثل

4 - 6 - 4 – دورة التبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل وبوجود صمام تمـدد واحد: **Two-Stage Compression With Imperfect Intercooling**

على الشكل (19 - 4) رسم تخطيطي لدورة التبريد هذه حيث يتم فيها العمل كمايلي:



الشكل (19 - 4) آلة تبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل



الشكل (20 - 4) تمثيل سير الإجراءات على مخطط (T-s) بالنسبة لآلة تبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني غير كامل

يدخل البخار الخارج من المبخر (وفق شروط النقطة 1) إلى مرحلة الانضغاط الأولى حيث يتم ضغطه من الضغط P_o إلى الضغط البيني P_2 (الإجراء 2-1) وبعدها يتم تبريد البخار المضغوط بوساطة الماء عند ضغط ثابت حتى النقطة `3، عملية التبريد هذه غير كاملة بسبب أن شروط النقطة `3 تبقى ضمن منطقة البخار المحمص، أنظر الشكل (10 - 4). بعد عملية التبريد البينية هذه يضغط البخار مرة ثانية أديابانتياً في ضاغط المرحلة الثانية (الإجراء `4-`3) ومن ثم يتم تكثيف البخار المضغوط والساخن في المكثف حيث يتحول إلى سائل عند ثبوت الضغط ودرجة الحرارة.

عملياً يتضمن المكثف نفسه زيادة تبريد للسائل المتكاثف (بزيادة سطح التبادل الحراري) وبالتالي نحصل على السائل المتكاثف عند شروط النقطة 5.

يدخل السائل المتكاثف (النقطة 5) إلى صمام خنق ليتم خنقه حتى الضغط P_o (الإجراء 6-5) وأخيراً يوجه السائل الخارج من صمام الخنق ذي شروط النقطة 6 إلى المبخر حيث يتم هناك تبخر هذا السائل (العملية 1-6) لنحصل على التأثير التبريدي المطلوب.

بمقارنة هذه الدورة مع دورة الانضغاط بمرحلة واحدة نلاحظ أننا في حالة الانضغاط بمرحلتين اقتصدنا عملاً تمثله المساحة المهشرة على الشكل (20 - 4) المساحة (2-2`-4`-3`).

في دورة التبريد هذه نلاحظ أن كمية وسيط التبريد المارة في كل مرحلة هي نفسها أي:

(4-37)

يتحدد الضغط البيني P_2 بين المرحلتين بالعلاقة:

$$P_2 = \sqrt{P_o . P_k} \qquad (4\text{-}38)$$

عند قيمة الضغط البيني هذه تكون نسبة الانضغاط متساوية في كلتا مرحلتي الانضغاط وتجدر الإشارة إلى أن تساوي نسبة الانضغاط في كل من المرحلتين يحقق الدورة بأقل قدرة مصروفة وبالتالي بأفضل معامل تبريدي.

يتحدد عمل ضاغط المرحلة الأولى (المنخفضة الضغط) بالعلاقة:

$$W_{c_1} = G(i_2 - i_1) \qquad (4\text{-}39)$$

وللمرحلة الثانية (المرتفعة الضغط):

$$W_{c_2} = G(i_{4'} - i_{3'}) \qquad (4\text{-}40)$$

وفي هذه الحالة يتحدد معامل التبريد :

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{\Sigma W} = \frac{Q}{W_{c_1} + W_{c_2}} \qquad (4\text{-}41)$$

لكي نستطيع تحديد الضاغط اللازم لآلة تبريد من هذا النوع فإن من الضروري تحديد الحجم العامل خلال واحدة الزمن لكل من مرحلة الانضغاط الأولى والثانية والتي يمكن إعطاؤها بالمعادلتين التاليتين:

$$V_2 = \frac{G.v_{3'}}{\lambda_2} \quad ، \quad V_1 = \frac{G.v_1}{\lambda_1} \qquad (4\text{-}42)$$

حيث:

V_1، V_2 ـ الحجم العامل خلال واحدة الزمن لكل من أسطوانة الضاغط للمرحلتين الأولى والثانية.

v_1، $v_{3'}$ – الحجم النوعي للبخار عند سحب المرحلتين الأولى والثانية على التوالي.

λ_1 ، λ_2 - معامل التغذية لكل من ضاغطي المرحلة الأولى والثانية على التوالي.

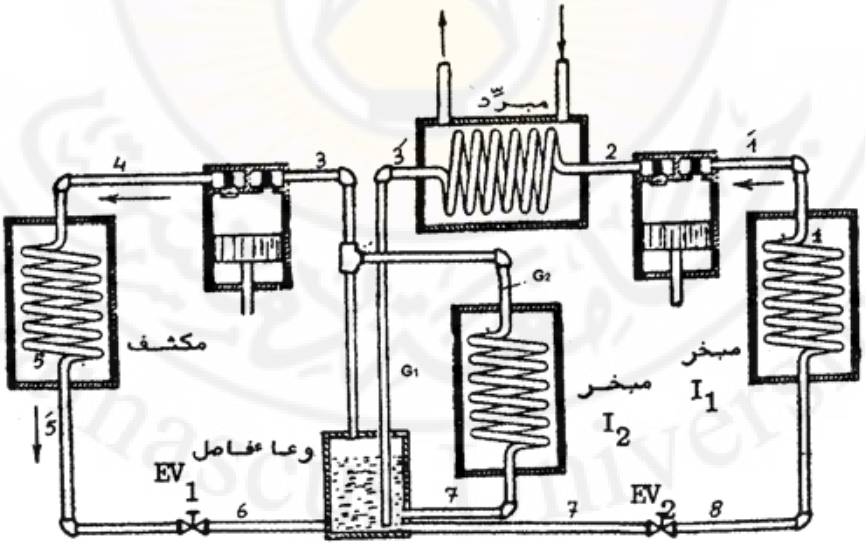
تختلف قيمتا λ_1 ، λ_2 عن بعضهما بمقدار كبير حيث λ لا تتعلق فقط بنسبة الانضغاط للمرحلة بل تتعلق أيضاً بقيمة الضغطين المطلقين للسحب والدفع وكلما انخفضت قيمة الضغط انخفضت قيمة λ لذلك تنخفض قيمة λ_1 بمقدار 10-20% عن λ_2 تقريباً.

5 - 6 - 4 - دورة التبريد بمرحلتي انضغاط بصمامي تمدد مع تبريد بيني كامل بين المرحلتين: Two-Stage Compression with Perfect Intercooling

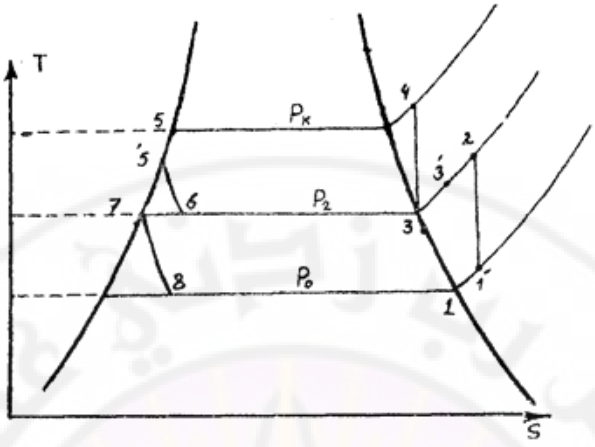
يبين الشكل (21 - 4) دورة تبريد من هذا النوع مع ملاحظة أنه يمكننا بمساعدتها الحصول على درجة حرارة غليان واحدة أو درجتي غليان مختلفتين لوسيط التبريد وفي الحالة الأخيرة يمكن أن نبرد مكانين مختلفين بدرجتي حرارة مختلفتين.

تتم آلية عمل الدورة على الشكل التالي:

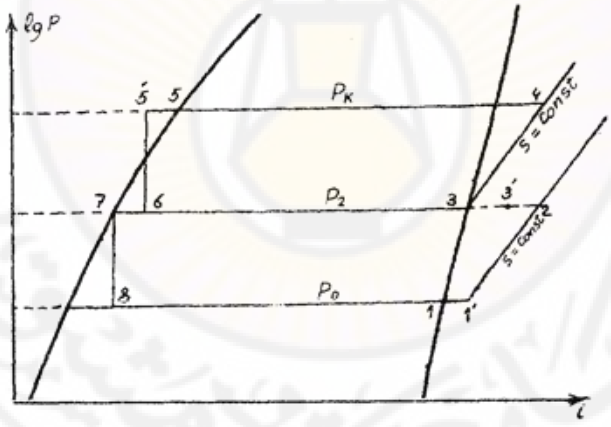
يدخل G kg من وسيط التبريد الخارج من ضاغط المرحلة الثانية (الضغط المرتفع) إلى المكثف إذ يتم تكاثف وزيادة تبريد وسيط التبريد ضمنه (`4-5) مع التنويه إلى أن زيادة التبريد هذه يمكن أن تتم خارج المكثف بإضافة مبرد يوضع بعد المكثف مباشرة.



الشكل (21 - 4) دورة التبريد بمرحلتي انضغاط وبصمامي تمدد مع تبريد بيني كامل بين المرحلتين



الشكل (22 - 4) تمثيل الدورة على مخطط (T-s)



الشكل (23 - 4) تمثيل الدورة على مخطط (i-log P)

يدخل السائل المتكاثف إلى صمام التمدد EV_1 إذ تنخفض باراسترات السائل (الضغط ودرجة الحرارة) حتى الوصول إلى شروط النقطة 6 (الإجراء 6-5')، ويكون كسر الجفاف للمزيج السائلي – البخاري هو x_6، يدخل المزيج إلى وعاء فاصل بيني إذ يتم فيه فصل كمية من البخار قدرها $G.x_6$ وفق شروط النقطة 3 وكمية من السائل قدرها $(1-x_6)$ وفق شروط النقطة 7.

الرئيس يتجه الجزء من سائل وسيط التبريد إلى صمام التمدد EV_2 إذ يتم خنق السائل مرة ثانية (الإجراء 8-7) لتصبح بارامترات السائل T_o، P_o.

بعد عملية الخنق الأخيرة يدخل وسيط التبريد المحدد وفق شروط النقطة 8 إلى المبخر I_1 ذي درجة الحرارة المنخفضة.

القسم الآخر من سائل وسيط التبريد G_2 يتجه إلى المبخر I_2 الذي درجة حرارته أعلى من درجة حرارة المبخر الأول حيث إن ضغط التبخر في هذا المبخر يساوي الضغط البيني P_2 وبالتالي يتم تبخره عند درجة الحرارة T_2 والتي هي أعلى من درجة الحرارة T_o (انظر الشكلين 22-4 و 23-4)، في حالة عدم وجود المبخر I_2 فإن كامل كمية السائل تمر عبر المبخر I_1 . في كلتا الحالتين هناك كمية من السائل تتبخر ضمن الوعاء البيني نفسه لتبريد بخار وسيط التبريد الخارج من ضاغط المرحلة الأولى (الإجراء 3 - `3).

البخار الخارج من المبخر I_1 وفق شروط النقطة 1 تحصل له زيادة تسخين (الإجراء $1' - 1$) في الأنابيب الواصلة مابين المبخر والضاغط علماً أن زيادة التسخين هذه قد تحصل ضمن المبخر نفسه، يدخل البخار المحمص (النقطة $1'$) إلى ضاغط المرحلة الأولى (الضغط المنخفض) إذ يتم ضغطه أديباتياً حتى شروط النقطة 2 (الإجراء $1' - 2$) ومن ثم يمرر البخار المضغوط والساخن عبر مبرد بيني حيث تنخفض درجة حرارته عند ثبوت الضغط (الإجراء $2 - 3'$) وتجدر ملاحظة أن المبرد البيني هذا يمكن استعماله فيما إذا كانت درجة حرارة البخار المراد تبريده أعلى من درجة الحرارة الوسطية لمياه تبريد المبرد البيني.

وحتى نتمكن من الحصول على تبريد بيني كامل بين المرحلتين نحتاج إلى تبريد البخار المحدده شروطه وفق النقطة `3 ضمن الوعاء البيني وبالتالي نحتاج إلى تبخير جزء من سائل وسيط التبريد G' ضمن هذا الوعاء للحصول على التأثير التبريدي المطلوب.

مما سبق يمكن كتابة معادلة التوازن الحراري التالية بالنسبة للوعاء البيني:

$$G_1(i_{3'} - i_3) = G'(i_3 - i_7) \qquad (4\text{-}43)$$

كما يمكن تحديد كمية البخار التي يمتصها ضاغط المرحلة الثانية من شروط التوازن الكتلي للوعاء المذكور وفق التعبير التالي:

$$G = Gx_6 + G_1 + G' + G_2$$

أو:

$$G = \frac{G_1 + G' + G_2}{(1 - x_6)}$$

إذ:

$G_1(gk)$ كمية البخار المتشكلة في المبخر I_1.

G_2 كمية البخار المتشكلة في المبخر I_2.

G' كمية البخار المتشكلة في الوعاء البيني واللازمة لتبريد G_1 kg بخار.

$G.\ x_6$ كمية البخار المتشكلة بعد صمام التمدد EV_1.

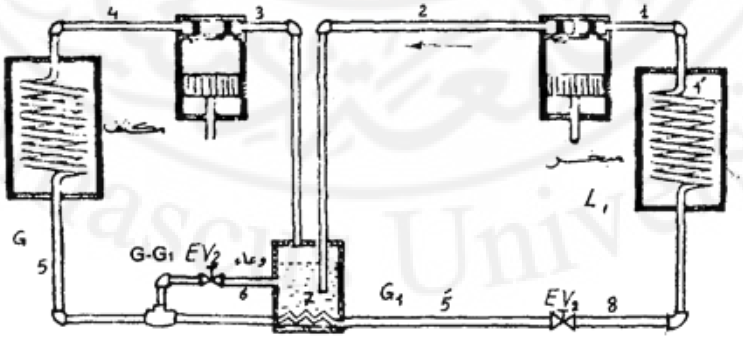
يقوم ضاغط المرحلة الثانية (الضغط المرتفع) بضغط البخار أديباتياً حتى النقطة 4 (الإجراء 4-3) إذ يوجه البخار المضغوط إلى المكثف الإجراء (4-5`) وهكذا يعود السائل المتكاثف إلى صمام التمدد EV_1 ليكمل دورته مرة أخرى عبر دورة التبريد كما شرحنا في بداية هذه الفقرة.

6 - 6 - 4 – دورة التبريد مع زيادة التبريد العميقة لسائل وسيط التبريد المرتفع الضغط في الوعاء البيني:

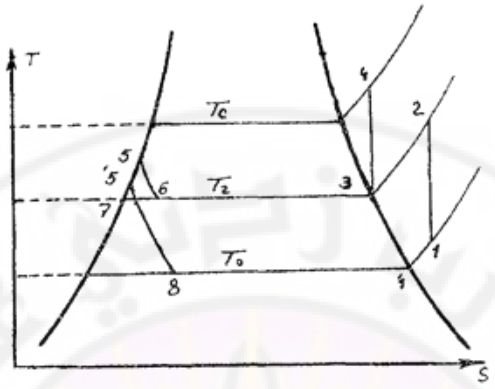
(Refrigeration circuit with deep cooling for high pressure refrigerant)

تظهر هذه الدورة على الشكل (24 - 4) حيث نرى أن سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف ينقسم إلى قسمين:

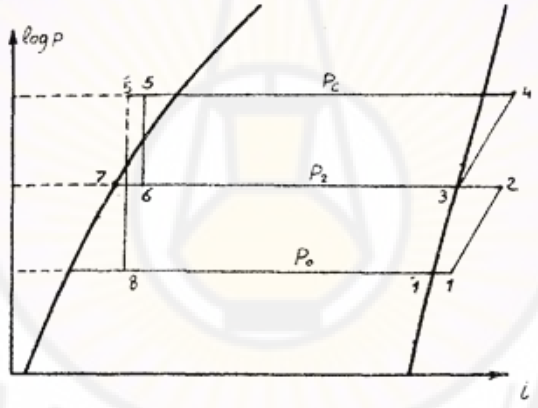
يدخل القسم الرئيس G_1 إلى الوعاء البيني ليتبادل الحرارة معه دون أن يختلط بمحتويات الوعاء البيني. الشكل (24 - 4) دورة التبريد مع وجود زيادة تبريد عميقة في الوعاء البيني



الشكل (24 - 4) دورة التبريد مع وجود زيادة تبريد عميقة في الوعاء البيني



الشكل (25 - 4) تمثل الدورة على مخطط (T- s)



الشكل (26 - 4) تمثيل الدورة على مخطط (i-logp)

أما القسم الآخر ($G-G_1$) فيتجه إلى صمام التمدد EV_1 ويحدث إجراء الخنق لهذا القسم وفق المنحني (6-5)، انظر الشكلين (25-4) و (26-4).

بعد عملية الخنق هذه يؤخذ السائل الناتج إلى الوعاء البيني ليتم تبخره هناك وبالتالي تبريد القسم G_1 المار عبر الأنبوب (الإجراء (`5-5).

في الحالة المثالية فإن سائل وسيط التبريد G_1 يبرد في الوعاء البيني حتى الدرجة T_6 (أي النقطة `5 تنطبق في هذه الحالة على النقطة 7 على المخطط T-s).

وفي الواقع تكون درجة حرارة السائل المار ضمن أنبوب التبادل الحراري في الوعاء البيني أعلى من درجة حرارة سائل وسيط التبريد أي $T_{5'} > T_7$، فرق درجة الحرارة هذا يتراوح مابين 4 - 2 °c.

ينعكس هذا الفرق على زيادة قيمة الضياع اللا عكوس في الدورة الترموديناميكية والذي يؤدي إلى إبعادها عن صفة الكمال الترموديناميكي.

يدخل سائل وسيط التبريد الخارج من الوعاء البيني إلى صمام التمدد EV_2 حيث تتم عملية خنقه دفعة واحدة من الضغط P_c إلى P_o (الإجراء 8-5`).

بعد خروج المزيج البخاري – السائلي من صمام الخنق (النقطة 8) يستفاد من هذا المزيج في إحداث التأثير التبريدي المطلوب في المبخر (الإجراء 1`-8).

يقوم ضاغط المرحلة الأولى بامتصاص البخار الخارج من المبخر والمحددة شروطه وفق النقطة 1` ليقوم بضغطه أديباتياً حتى النقطة 2.

يوجه البخار المضغوط والساخن إلى الوعاء البيني ليتم تبريده إلى النقطة الاشباعية 3 (تبريد بيني كامل).

بدراسة عملية التوازن الكتلي للوعاء البيني نرى أن الوعاء البيني يستقبل من المكثف كمية من وسيط التبريد تساوي $(G-G_1)$ kg يتحول منها إلى بخار $[(G-G_1).x_6]$ نتيجة عملية الخنق ويبقى سائل يساوي $(G-G_1)(1-x_6)$ kg والذي يتم تحوله إلى بخار ضمن الوعاء البيني نفسه.

التأثير التبريدي الناتج عن تبخر هذه الكمية من السائل يصرف لغرضين:

الأول: تحقيق عملية التبريد البيني الكامل بين المرحلتين لـ G_1 kg من بخار وسيط التبريد.

الثاني: تحقيق عملية زيادة التبريد العميق لـ G_1 kg المارة عبر أنبوب التبادل الحراري في الوعاء البيني.

بفرض أن كمية السائل اللازمة لتحقيق عملية التبريد البيني بين المرحلتين تساوي G` تكون معادلة التوازن الحراري على الشكل التالي:

$$G'_1(i_2 - i_3) = G'(i_3 - i_7) \qquad (4\text{-}44)$$

وبفرض أن كمية السائل اللازمة لتحقيق عملية التبريد العميق تساوي G`` تكون معادلة التوازن هي:

$$G_1(i_5 - i_{5'}) = G''(i_3 - i_7) \qquad (4\text{-}45)$$

وتكون كمية البخار التي يمتصها ضاغط المرحلة الثانية:

$$G = (G - G_1)x_6 + G_1 + G' + G'' \qquad (4\text{-}46)$$

إذ: x_6 $(G - G_1)$ كمية البخار المتشكلة بعد صمام الخنق EV_1.

G_1: كمية البخار الخارجة من المبخر.

G' : كمية البخار المتشكلة في الوعاء البيني لتحقيق التبريد البيني الكامل لـ G_1 بخار.

G'' : كمية البخار المتشكلة في الوعاء البيني نتيجة زيادة التبريد لكمية G_1 سائل.

تنضغط كمية البخار المحسوبة وفق المعادلة (4-46) في ضاغط المرحلة الثانية (الضغط المرتفع) أديباتياً (الإجراء 4-3) ومن ثم يتكاثف البخار المضغوط والساخن في المكثف (الإجراء 5-4) ويتابع السائل الخارج من المكثف دورته كما أسلفنا ذكره.

تتميز هذه الطريقة بعدم إمكان دخول زيت ضاغط المرحلة الأولى إلى المبخر وبالتالي عدم اتساخ المبادلات الحرارية.

7- 6 - 4- الحسابات الحرارية لدورات التبريد بمرحلتي انضغاط مع تبريد بيني كامل بين المرحلتين:

حتى نتمكن من إجراء حساباتنا يجب أن تكون معطاة لدينا شروط عمل الآلة (درجات حرارة التبخر والتكاثف لوسيط التبريد) وكذلك الإنتاجية التبريدية المطلوبة Q_0 (انظر الشكل25 - 4):

a – كمية وسيط التبريد المارة في ضاغط المرحلة الأولى:

$$G_1 = \frac{Q_0}{i_1 - i_8} \qquad (4\text{-}47)$$

b – كمية بخار وسيط التبريد المارة في ضاغط المرحلة الثانية:

$$G = G_1 + \frac{G' + G''}{1 - x_6} \qquad (4\text{-}48)$$

c– كمية وسيط التبريد المتبخرة ضمن الوعاء البيني G' للحصول على التبريد البيني الكامل لـ G_1 kg:

$$G' = G_1 \frac{i_2 - i_3}{i_3 - i_7} \qquad (4\text{-}49)$$

d – كمية وسيط التبريد المتبخرة ضمن الوعاء البيني G'' للحصول على زيادة التبريد لـــ G_1 kg:

$$G'' = G_1 \frac{i_5 - i_{5'}}{i_3 - i_7} \qquad (4\text{-}50)$$

e – في حالة وجود مبخر ثانوي يستهلك كمية من سائل وسيط التبريد قدرها G_2 من الوعـاء البيني:

$$G_2 = \frac{Q'_o}{i_3 - i_7} \qquad (4\text{-}51)$$

إذ: $Q`_o$ إنتاجية المبخر الثانوي:

مع ملاحظة أنه يجب في هذه الحالة إضافة قيمة G_2 إلى الطرف الأيمن من المعادلة (4-48).

F – الاستطاعة النظرية لضاغطي المرحلتين الأولى والثانية:

$$\left.\begin{array}{l} N_1 = G_1 (i_2 i_1) \\ N_2 = G (i_4 - i_3) \end{array}\right\} \qquad (4\text{-}52)$$

– معامل التبريد للدورة:

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{N_1 + N_2} = \frac{Q_o}{C_1(i_2 - i_1) + G(i_4 - i_3)} \qquad (4\text{-}53)$$

مع ملاحظة أنه عند وجود مبخر ثانوي يعمل على ضغط تبخر مساو الـضغط فـي الوعاء البيني فإن الإنتاجية التبريدية لهذا المبخر لا تؤخذ بالحسبان أثناء حساب معامل التبريد.

– تحسب الحجوم العاملة لكل من ضاغطي المرحلتين الأولى والثانية من العلاقات التالية:

$$V_2 = \frac{G\ v_3}{\lambda_2} \quad ، \quad V_1 = \frac{G_1 v_1}{\lambda_1} \qquad (4\text{-}54)$$

إذ:

v_3, v_1 الحجوم النوعية لبخار وسيط التبريد الموافقة للنقاط 1 و 3 على التوالي.

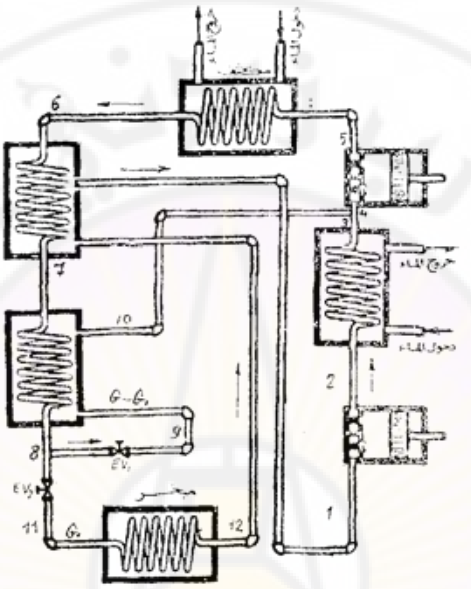
λ_2, λ_1 معامل التغذية لكل من ضاغطي المرحلة الأولى والثانية على التوالي.

8 - 6 - 4 – دورة تبريد مؤلفة من مرحلتي انضغاط مع زيادة تبريـد بوسـاطة مبـادلات حرارية:

Two-Stage Compressor with after Cooling By Heat Exchangers

تصلح هذه الدورة للعمل على آلات التبريد الفريونية (الشكل 27 - 4) ويتم عملها كمايلي:

يقوم ضاغط المرحلة الأولى بضغط البخار من الضغط P_0 وحتى الضغط P_2 (الإجراء 2-1)، انظر (الشكل 28-4) ومن ثم يبرد البخار المضغوط بوساطة الماء في المبرد البيني (الإجراء 3-2).

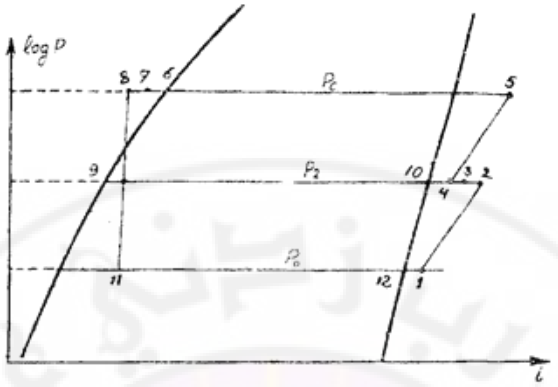


الشكل (27 - 4) دورة التبريد المؤلفة من مرحلتي انضغاط
مع زيادة التبريد باستخدام المبادلات الحرارية

يمتزج البخار المحددة شروطه وفق النقطة 3 مع البخار المحددة شروطه وفق النقطة 10 والقادم من المبادل الحراري الثاني.

بنتيجة المزج تصبح حالة البخار المزيج متمثلة بالنقطة 4 حيث يتم ضغط هذه الكمية في ضاغط المرحلة الثانية (الإجراء 5-4).

تساق كمية البخار المضغوط (G,kg) في ضاغط المرحلة الثانية إلى المكثف إذ يتحول وسيط التبريد إلى الحالة السائلة (الإجراء 6-5).



الشكل (28-4) تمثيل الدورة على مخطط (i-logp)

يؤخذ السائل المتكاثف والمتمثلة شروطه وفق النقطة 6 حيث يتم إجراء عملية زيادة تبريد له ضمن مبادل حراري يستفيد من درجة الحرارة المنخفضة للبخار الخارج من المبخر على حساب إحداث زيادة تسخين لهذا البخار وبالتالي نتمكن من تبريد سائل وسيط التبريد إلى النقطة 7 (الإجراء 7-6).

علاوة على ما سبق يساق سائل وسيط التبريد إلى مبادل حراري ثانٍ يستفيد من غليان سائل وسيط التبريد القادم عبر صمام الخنق EV_1 عند ضغط P_2 (الإجراء 8-7)

بعد عملية زيادة التبريد الأخيرة ينقسم سائل وسيط التبريدي إلى جزأين، الجزء الأول وقدره $(G - G_1)$ kg يمرر عبر صمام التمدد EV_1 ليستفاد منه في المبادل الحراري الثاني كما شرحنا.

أما الجزء الثاني ويساوي G_1 وهو الجزء الرئيس فيمرر عبر صمام الخنق EV_2 إذ يتم تخفيض ضغطه من P_c وحتى P_o دفعة واحدة (الإجراء 11-8).

أخيراً يدخل السائل الخارج من صمام الخنق EV_2 إلى المبخر ليتبخر عند الضغط P_o (الإجراء 12-11) ومن ثم يدخل البخار الخارج من المبخر إلى المبادل الحراري الأول إذ تحصل له زيادة تسخين كما أسلفنا وبالتالي تصبح بارامترات البخار متمثلة بالنقطة 1 (الإجراء 1-12).

مسائل محلولة

مسألة 1

على الشكل المجاور دورة آلة تبريد تعمل على الأمونيا تتألف هذه الدورة من ضاغط ومكثف وممدد توربيني ومبخر.

بفرض أن $t_1 = t_o = -10°c$ و $t_2 = t_c = 20°c$

كسر الجفاف للبخار الخارج من الضاغط $X_2 = 1$ وعند الخروج من المكثف $x_3 = 0$

والمطلوب حساب:

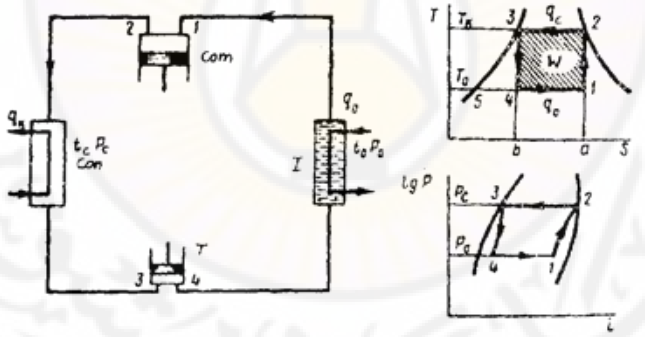
١- كسري الجفاف x_1 و x_4.

٢- الإنتاجية التبريدية النوعية لهذه الآلة.

٣- الحرارة المطروحة في المكثف.

٤- العمل المصروف في الدورة.

٥- معامل التبريد.



الحل:

نقوم أولاً بتحديد بارامترات النقاط 4-3-2-1 بالاستعانة بمخططات وجدول الأمونيا:

النقطة	t (°c)	(i) kj/kg	(s) kj/kg.K	v m3/kg
1	-10		8.565	
2	20	1699.5	8.565	
3	20	512.38	4.515	
4	-10		4.515	

١- من شروط توازن المزيج السائلي - البخاري بالنسبة لكل من النقطة 1 و 4 يمكن كتابة المعادلات التالية:

$$s_1 = s_2 = s''.x_1 + s'(1 - x_1)$$

$$s_4 = s_3 = s''.x_4 + s'(1 - x_4)$$

ومنه:

$$x_1 = \frac{s_2 - s'}{s'' - s'}$$

$$x_4 = \frac{s_3 - s'}{s'' - s'}$$

بالتعويض نحصل على:

$$x_1 = \frac{8.565 - 4.016}{8.94 - 4.016} = 0.9238$$

$$x_4 = \frac{4.515 - 4.016}{8.94 - 4.016} = 0.1013$$

٢- لحساب الإنتاجية التبريدية تحسب أولاً قيم انتالبي النقطتين 1 و 4 من المعادلات التالية:

$$i_1 = i''.x_1 + i(1 - x_1)$$

$$i_4 = i''.x_4 + i'(1 - x_4)$$

ومنه:

$$i_1 = 1669.15\ (0.9238) + 372.75\ (1\text{-}0.9238) = 1570.36\ kj/kg$$

$$i_4 = 1669.15\ (0.1013) + 372.75\ (1\text{-}0.1013) = 504.07\ kj/kg$$

الإنتاجية التبريدية لـ 1kg أمونيا:

$$q_o = i_1 - i_4 = 1570.36 - 504.07 = 1066.29\ kj/kg$$

٣- الحرارة المطروحة في المكثف:

$$q_c = i_2 - i_3 = 1699.5 - 512.38 = 1187.12\ kj/kg$$

٤- العمل المصروف في الدورة:

$$w = q_c - q_o = 1187.12 - 1066.29 = 120.83\ kj/kg$$

٥- معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{q}{w} = \frac{1066.29}{120.83} = 8.824$$

مسألة 2

لدينا آلة تبريد ضاغطة بخارية بمرحلة واحدة تعمل على فريون R-12، الإنتاجية التبريدية لهذه الآلة $Q_o = 20000$ kcal/h إذا كانت درجة حرارة غليان وسيط التبريد $t_o = -15°c$ ودرجة حرارة التكاثف $t_c = 30°c$ ودرجة حرارة وسيط التبريد قبل صمام التمدد $t = 25°c$ لأنه توجد زيادة تبريد قدرها $5°c$ احسب:

١- الإنتاجية التبريدية النوعية لكل 1kg من وسيط التبريد.

٢- الاستطاعة النظرية اللازمة لضغط 1kg من وسيط التبريد.

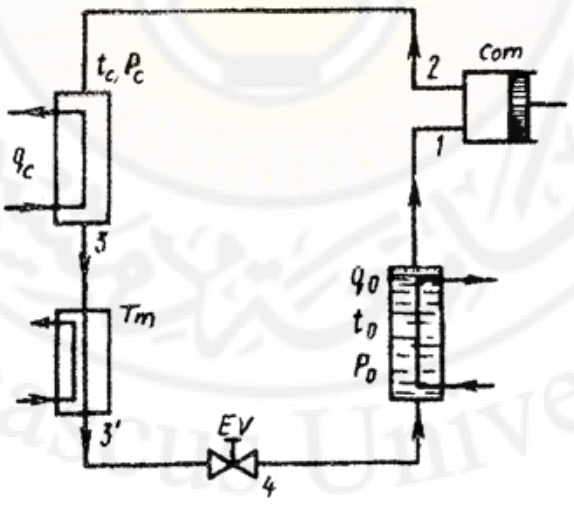
٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف لـ 1 kg من وسيط التبريد.

٤- معامل التبريد النظري.

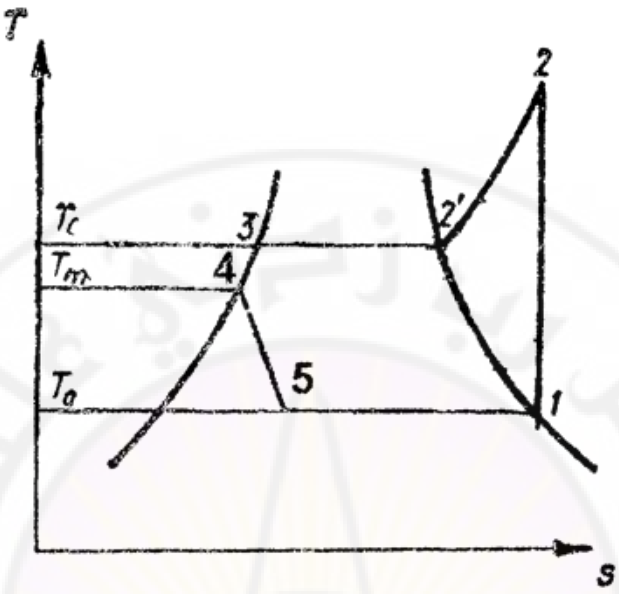
٥- كمية وسيط التبريد الدائر في آلة التبريد.

٦- الاستطاعة النظرية المستهلكة في الضاغط.

٧- الحمل الحراري للمكثف.



الحل:



بالاستعانة بمخططات وجدول فريون R-12 نحدد بارامترات النقاط المختلفة:

النقطة	t (c°)	P (bar)	i (kj/kg)	s (kj/kg.K)
1	-15	1.8259	281.56	2.3527
2		7.4806		2.3527
3	30	7.4806	163.61	1.8815
4	25	7.4806	158.64	1.8651
5	-15	1.8259	158.64	

١- حساب الإنتاجية التبريدية النوعية q_o:

نحدد انتالبي النقطة 4 بمعرفة درجة الحرارة (25°c) وهي تقع على خط السائل المشبع وبالتالي يمكن معرفة انتالبي النقطة 4 بملاحظة أن الإجراء 5-4 في صمام التمدد يتم بثبوت الانتالبي ومنه:

$$q_o = i_1 - i_5$$

$$q_o = 281.56 - 158.64 = 122.92 \text{ kj/kg}$$

٢- الاستطاعة النظرية اللازمة لضغط 1kg من وسيط التبريد:

نحسب أولاً قيمة i_2 من جداول البخار المحمص عند ضغط ثابت (7.4806bar) مساوٍ ضغط التكاثف وانتروبي مساو لانتروبي النقطة 1 (s_1=2.3527 kJ/Kg °K) ومنه نجد:

$$i_2 = 307.2 \text{ kJ/kg}$$

$$w_c = i_2 - i_1 = 307.2 - 281.56 = 25.64 \text{ kJ/kg}$$

٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف لكل 1kg وسيط تبريد:

$$q_c = i_2 - i_3 = 307.2 - 163.61 = 143.59 \text{ kJ/kg}$$

وفي حالة كون زيادة التبريد تتم ضمن المكثف نفسه تصبح كمية الحرارة المطروحة:

$$q_c = i_2 - i_3 = 307.2 - 158.64 = 148.56 \text{ kJ/kg}$$

٤- معامل التبريد النظري:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{q_c - q_o} = \frac{122.92}{148.56 - 122.92} = 4.79$$

٥- كمية وسيط التبريد الدوارة في آلة التبريد:

$$G = \frac{Q_o}{q_o} = \frac{20000 \times 4.1868}{122.92} = 681.2 \frac{kg}{h.}$$

٦- الاستطاعة النظرية المستهلكة في الضاغط:

$$N = G.w_c = \frac{681.2 \times 25.64}{3600} = 4.85kw$$

٧- الحمل الحراري للمكثف:

$$Q_c = G.q_c = \frac{681.2 \times 148.56}{3600} = 28.11kw$$

مسألة 3

أعد حل المسألة السابقة بافتراض معطيات المسألة السابقة نفسها باستثناء أن وسيط التبريد هو الأمونيا بدلاً من فريون R-12 وأن درجة حرارة الغليان هي $-30°c$.

الحل: بالاستعانة بجدول ومخططات الأمونيا نجد النقاط المختلفة:

النقطة	t (°c)	P (at)	I Kcal/kg	s Kcal/kg.K
1	-30	1.219	391.91	2.209
2		11.895		2.209
3	30	11.895	133.84	1.1165
4	25	11.895	128.09	1.1014
5	-30	1.219	128.09	

١- الإنتاجية التبريدية:

$$q_o = (391.91 - 128.09) \times 4.1868 = 1104.5 \text{ kJ/kg}$$

٢- الاستطاعة النظرية اللازمة لضغط 1kg:

$$w_o = (474.5 - 391.91) \times 4.1868 = 345.7 \text{ kj/kg}$$

٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف لـ 1kg:

$$q_c = (474.5 - 128.09) \times 4.1868 = 1450.3 \text{ kj/kg}$$

٤- معامل التبريد النظري:

$$\varepsilon = \frac{1104.5}{1450.3 - 1104.5} = 3.194$$

٥- كمية الأمونيا الدوارة:

$$G = \frac{20000 \times 4.1868}{1104.5} = 75.81 \text{ kg/h}$$

٦- استطاعة الضاغط النظرية:

$$N_c = 75.81 \times \frac{345.7}{3600} = 7.279kw$$

٧- استطاعة المكثف:

$$Q_c = 75.81 \times \frac{1450.3}{3600} = 30.54kw$$

مسألة 4

لدينا آلة تبريد مؤلفة من مرحلة انضغاط واحدة تعمل على فريون R-12، الإنتاجية التبريدية لهذه الآلة $Q_o = 4000\ W$ وتعمل ضمن شروط العمل التالية:

درجة حرارة الغليان $t_o = -20°c$، درجة حرارة التكاثف $t_k = 30°c$، درجة حرارة سائل وسيط التبريد قبل صمام التمدد مباشرة $20°c$، درجة حرارة بخار سحب الضاغط $-5°c$ والمطلوب حساب:

١- كمية وسيط التبريد الدوارة ضمن المرحلة.

٢- التدفق الحجمي للبخار الداخل إلى الضاغط في المرحلة الثانية.

٣- حجم الفراغ العامل لاسطوانة الضاغط إذا كان معامل تغذية الضاغط $\lambda=0.66$.

٤- الاستطاعة النظرية للضاغط.

٥- الاستطاعة البيانية للضاغط إذا كان مردود الضاغط البياني $\eta_i=0.72$.

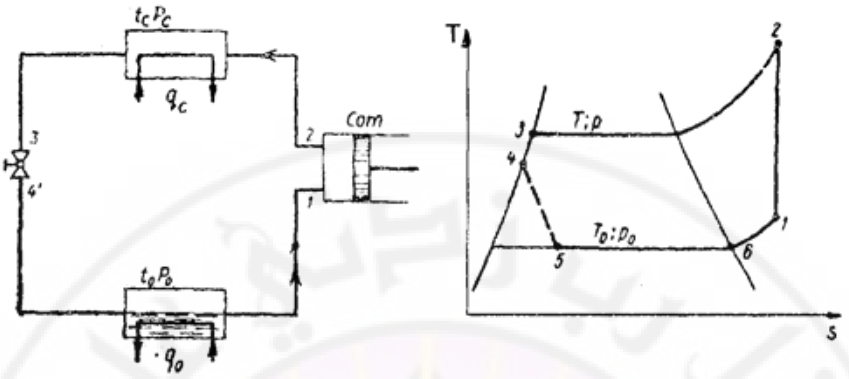
٦- الاستطاعة الفرملية للضاغط إذا كان المردود الميكانيكي له $\eta_m=0.8$.

٧- استطاعة المحرك الكهربائي اللازم على فرض أن مردود نقل $\eta_t=1$ ومردود محرك كهربائي $\eta_E=0.9$.

٨- الحرارة المطروحة في المكثف.

٩- المعامل التبريدي النظري.

١٠- المعامل التبريدي الكهربائي.



الحل:

١- حساب كمية وسيط التبريد الدوارة ضمن الآلة:

$$G = \frac{Q_o}{i_1 - i_5} = \frac{4000 \times 3.6}{288.03 - 153.73} = 107.2 kg/h$$

٢- حساب التدفق الحجمي:

$$V = Gv_1 = \frac{107.2}{3600} \times 0.1172 = 0.00348 \frac{m^3}{sec}$$

v m^3/kg	S (kj/kg.K)	i (kj/kg)	P (bar)	t (c°)	النقطة
	2.3561	279.25	1.5093	-20	6
0.1172	2.3898	288.03	1.5093	-5	1
	2.3898	318.2	7.4806		2
		163.64	7.4806	30	3
		153.73	7.4806	20	4
		153.73	1.5093	-20	5

٣- حساب حجم الفراغ العامل لأسطوانة الضاغط:

$$V_{cyl} = \frac{V}{\lambda} = \frac{0.00348}{0.66} = 0.00528 m^3 / sec$$

٤- الاستطاعة النظرية للضاغط:

$$N_c = G(i_2 - i_1) = 107.2 \times \frac{318.2 - 288.03}{3600} = 0.898 kw$$

٥- الاستطاعة البيانية للضاغط:

$$N_i = \frac{N_c}{\eta_i} = \frac{0.898}{0.72} = 1.247 kw$$

٦- الاستطاعة الفرملية على محور الضاغط:

$$N_b = \frac{N_i}{\eta_m} = \frac{1.247}{0.8} = 1.558 kw$$

٧- استطاعة المحرك الكهربائي:

$$N_E = \frac{N_b}{\eta_T . \eta_E} = \frac{1.558}{1 \times 0.9} = 1.73 kw$$

٨- الحرارة المطروحة في المكثف:

$$Q_c = G(i_2 - i_4) = 107.2 \times \frac{318 - 153.73}{3600} = 4.897 kw$$

٩- المعامل التبريدي النظري:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{q_c - q_o} = \frac{(288.03 - 153.73)}{(318.2 - 153.73) - (288.03 - 153.73)} = 4.45$$

$$\varepsilon_e = \frac{Q_o}{N_E} = \frac{4}{1.73} = 2.31$$

مسألة 5

آلة تبريد تعمل على الأمونيا إنتاجيتها التبريدية Q_o = 21000 Kcal.

أوجد:

١- معامل التبريد.

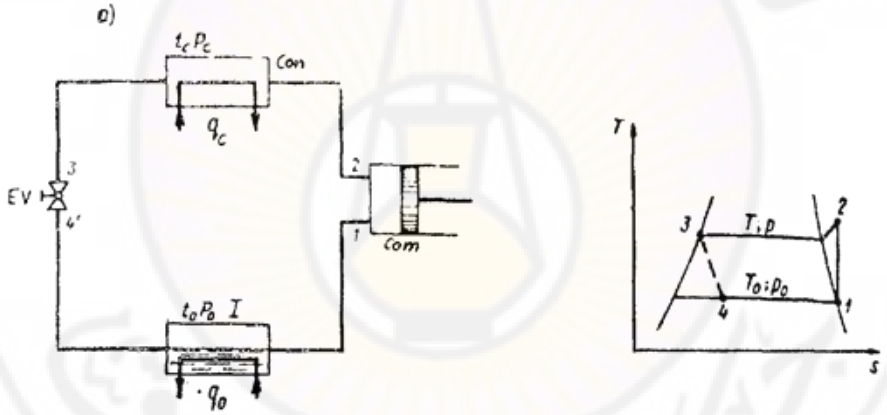
٢- الإنتاجية التبريدية النوعية (الإنتاجية التبريدية التي نحصل عليها نتيجة صرف قدرة تعادل 1000 kj في الدورة).

٣- الإنتاجية التبريدية لـ 1kg أمونيا.

٤- العمل المصروف على 1kg أمونيا والاستطاعة اللازمة.

٥- كمية وسيط التبريد الدوارة في آلة التبريد

٦- درجة جفاف البخار بعد عملية الخنق.



وذلك لأن الضغط المطلق في المبخر P_o = 2.94 bar والضغط المطلوب في المكثف P_c = 7.85 bar مع ملاحظة أنه ليس هناك زيادة تبريد لوسيط التبريد السائل كما أن البخار الخارج من المبخر هو بخار مشبع جاف.

الحل:

نقوم بتحديد النقاط المختلفة للدورة على مخطط (T-s) إذ نحصل على القراءات المبينة في الجدول اللاحق:

١- معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w} = \frac{q_o}{q_c - q_o} = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_3) - (i_1 - i_4)}$$

بالتعويض نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{(398.7 - 118.98)}{(430 - 118.98) - (398.7 - 118.98)} = 8.93$$

s Kcal/h	i Kcal/h	t (°c)	P bar	النقاط
2.136	398.7	-10	2.94	1
2.316	430		7.85	2
	118.98	-17	7.85	3
	118.98	-10	2.94	4

٢- الإنتاجية التبريدية النوعية (عند صرف قدرة في الدورة تعادل 1000 kJ).

$$Q'_o = \frac{q_o}{w} \times 1000 = \varepsilon \times 1000$$

$$Q'_o = 8.93 \times 1000 = 8930 \quad kj$$

٣- الإنتاجية التبريدية لـ 1kg أمونيا:

$$q_o = i_1 - i_4 = (398.7 - 118.98) \times 4.1868 = 1171.13 \quad kj/kg$$

٤- العمل المصروف لضغط 1kg أمونيا:

$$w = i_2 - i_1 = (430 - 398.7) \times 4.1868 = 131.04 \ kj/kg$$

وتحسب استطاعة الضاغط من المعادلة:

$$N_c = G.w = \frac{Q_o}{q_o} \times w = \frac{21000 \times 4.1868}{3600 \times 1171.17} \times 131.04 = 2.73kw$$

٥- كمية الأمونيا الدوارة في آلة التبريد:

$$G = \frac{Q_o}{q_o} = \frac{21000 \times 4.1868}{1171.13} = 75.07 \ kg/h$$

٦- كسر الجفاف بعد عملية الخنق:

$$x_4 = \frac{i_4 - i'}{i'' - i'} = \frac{118.98 - 89.03}{398.7 - 89.03} = 0.0967$$

مسألة 6

لدينا آلة تبريد عاملة على الأمونيا إنتاجيتها التبريدية 5000kg/h جليد بدرجة صفر للماء الذي درجة حرارته 10°c.

ضاغط هذه الآلة يمتص بخار الأمونيا بدرجة حرارة وكسر جفاف χ=0.98 ويضغط هذا البخار أديباتياً حتى الضغط 10 bar.

درجة حرارة وسيط التبريد الخارج من المكثف 15°c ودرجة حرارة خروجه من صمام التمدد 10°C- والمطلوب:

١- تصريف الأمونيا في الساعة.

٢- الإنتاجية التبريدية لآلة التبريد في الثانية.

٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف في الثانية.

٤- كسر الجفاف لوسيط التبريد في نهاية عملية الخنق.

٥- الاستطاعة النظرية لمحرك الضاغط.

٦- قارن معامل التبريد ε لآلة التبريد المدروسة مع معامل التبريد لدورة كارنو التي تعمل ضمن المجال الحراري نفسه.

حيث حرارة ذوبان الجليد $r = 331kj/kg$.

مثل الدورة على المخطط T-s.

مسألة 7

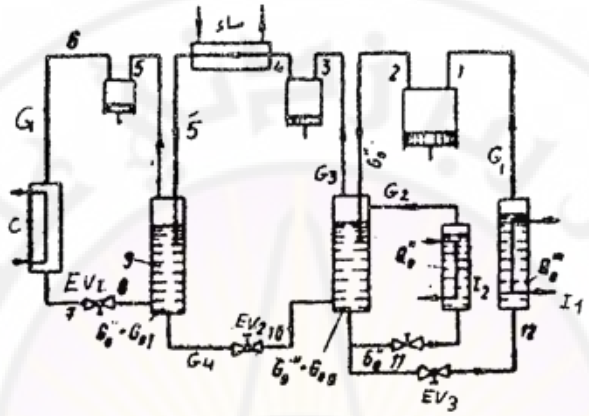
حدد كمية الأمونيا الدائرة في آلة تبريد مؤلفة من مرحلتي انضغاط وحدد كذلك الحجم النظري لأسطوانتي المرحلتين والاستطاعة النظرية لكلتا المرحلتين إذا كان لدينا:

$$t_c = 30°c \quad , \quad t_o = -35°c \quad , \quad Q_o = 100.000\ Kcal/h$$

وعلى فرض أن هناك زيادة تبريد ضمن المكثف مقدارها 10°c وأن هنالك تبريداً بينياً كاملاً بين المرحلتين يتم بمساعدة الوعاء البيني فقط حيث تساوي درجة حرارة الوعاء البيني إلى 5°c.

9- 6 - 4 – دورة التبريد بثلاث مراحل انضغاط:

يبين الشكل (29 - 4) آلة تبريد مؤلفة من ثلاث مراحل انضغاط مع تبريد بيني كامل بين مراحل الانضغاط وبوجود مبخرين.



الشكل (29 - 4) آلة تبريد بثلاث مراحل إنضغاط

بافتراض أن:

G' كمية سائل وسيط التبريد المتبخرة للحصول على تبريد بيني كامل بين المرحلتين الثانية والثالثة.

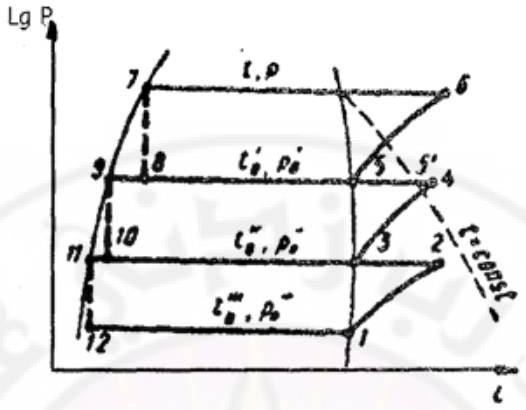
G'' كمية سائل وسيط التبريد المتبخرة للحصول على تبريد بيني كامل بين المرحلتين الأولى والثانية.

ينتج:

$$G_3 = G_4 x_{10} + G'' + G_1 + G_2$$
$$G = G.x_8 + G' + G_3 \qquad (4\text{-}55)$$

يخرج بخار وسيط التبريد المشبع الجاف من المبخر ذي درجة الحرارة والضغط المنخفضين (t_o''', P_o''') وفق بارامترات النقطة 1 حيث يتم ضغط هذا البخار في ضاغط المرحلة الأولى أديباتياً حتى الضغط P_o'' (النقطة 2).

يدخل البخار المضغوط إلى الوعاء البيني الأول حيث تتم عملية تبريد هذا البخار على حساب تبخر جزء من سائل وسيط التبريد عند ضغط ثابت P_o''، يتصف البخار الناتج عن عملية التبريد ببارامترات النقطة 3.



الشكل (30 - 4) تمثيل الدورة السابقة على مخطط (i-logP)

يتم سحب هذا البخار إضافة إلى كمية البخار المتشكلة نتيجة عملية الخنق في صمام التمدد EV2 وكذلك البخار المتشكل في المبخر (I2) ذي درجة الحرارة t''_o، إلى ضاغط المرحلة الثانية ليتم ضغط البخار إلى الضغط P'_o (النقطة 4).

يدخل البخار المضغوط إلى مبرد بيني حيث يتم تبريده عند ضغط ثابت إلى درجة حرارة النقطة `5 ومن ثم يدخل هذا البخار إلى الوعاء البيني الثاني ليبرد حتى شروط النقطة 5 على حساب تبخر جزء من وسيط التبريد ضمن الوعاء البيني الثاني.

يتشكل مزيج الأبخرة الخارجة من الوعاء البيني الثاني والمتجهة إلى ضاغط المرحلة الثالثة من مجموع كمية البخار الداخل إلى الوعاء من مرحلة الضغط الثانية وكمية البخار المتشكلة ضمن الوعاء البيني اللازمة لتبريد كمية البخار السابقة وكذلك البخار المتشكل نتيجة عملية الخنق في صمام التمدد EV1.

يتم ضغط كميات البخار هذه في ضاغط المرحلة الثالثة وفق الإجراء (6-5) أديباتياً ومن ثم يدخل البخار المضغوط والساخن إلى المكثف حيث تتم عملية التكاثف عند ضغط ثابت P (الإجراء 7-6)، تتم عملية خنق (تخفيض ضغط) السائل الخارج من المكثف عبر صمام التمدد (EV1) حتى شروط النقطة 8 والتي تمثل حالة مزيج (سائل–بخار) ومن ثم يساق هذا المزيج إلى الوعاء البيني للحصول على تبريد بيني بتبخر جزء من سائل وسيط التبريد (الإجراء 5-9).

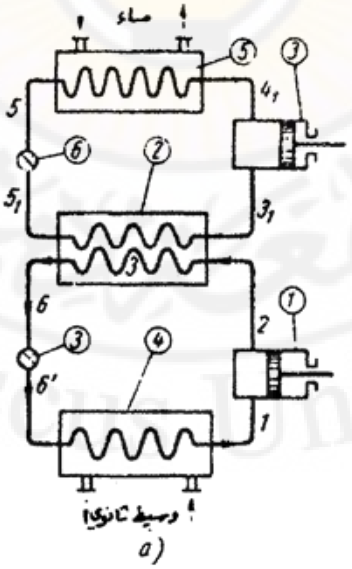
ينتقل السائل المتبقي ضمن الوعاء البيني عبر صمام التمدد EV2 إذ يتم تخفيض ضغطه مرة أخرى (الإجراء 10-9) ليدخل إلى الوعاء البيني الآخر.

تذهب كمية البخار المتشكلة عبر صمام التمدد EV2 إلى ضاغط المرحلة الثانية كما ذكرنا سابقاً، أما كمية السائل فتنقسم إلى ثلاثة أجزاء: جزء يتبخر ضمن الوعاء البيني لتبريد كمية البخار القادمة من ضاغط المرحلة الأولى وجزء يذهب إلى المبخر (I2) أما الجزء الثالث من سائل وسيط التبريد فيذهب إلى المبخر الرئيس (I_1) بعد مروره عبر صمام التمدد EV_3 (الإجراء 12-11).

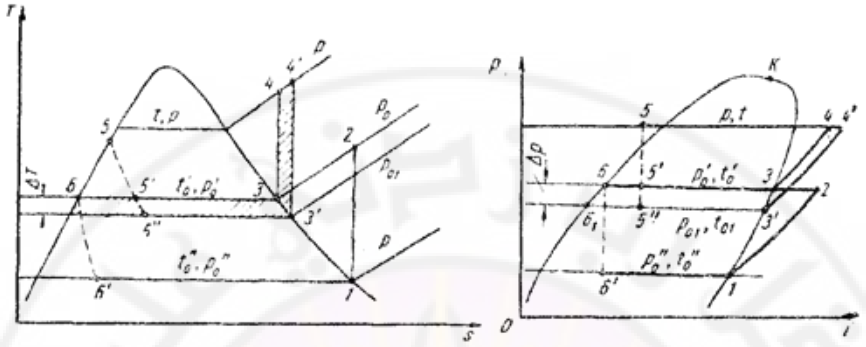
أخيراً يتم تبخر سائل وسيط تبريد ضمن المبخر الرئيس عند الضغط p_o''' ودرجة الحرارة الاشباعية الموافقة t_o''' وفق الإجراء (1-12) ومنه يذهب البخار إلى ضاغط المرحلة الأولى ليكمل دورته.

10 - 6 - 4 – دورة التبريد التسلسلية: Cascade Refrigeration

تتألف دورة التبريد التسلسلية من عدة دورات تبريد مستقلة متصلة مع بعضها بشكل تسلسلي بحيث يشكل مبخر الفرع الحاوي للدورة التسلسلية مكثفاً لدورة الفرع السفلي كما هو مبين في الشكل (31 - 4).



الشكل (31 - 4) دورة التبريد التسلسلية



الشكل (32 - 4) تمثيل دورة التبريد التسلسلية على مخططي (T-s) و (i-logp)

في هذا النوع من الآلات تتم عملية الانضغاط في دورة كل فرع بشكل مستقل عن الدورة الأخرى. لذلك تكون الخاصة الرئيسة لهذا النوع من آلات التبريد إمكان استعمال عدة وسائط تبريد بينما يتم استعمال نوع واحد من وسائط التبريد في آلات التبريد المتعددة المراحل.

لندرس آلة تبريد تسلسلية مؤلفة من دورتين A و B تستخدم كل منهما وسيط التبريد نفسه.

يجب أولاً ملاحظة أن مبخر الدورة A يتبادل الحرارة مع مكثف الدورة B، على هذا الأساس يتم سير عمل الدورة كما يلي:

الدورة B:

يقوم مبخر هذه الدورة بامتصاص الحرارة من الوسط المبرد وهذا يؤدي إلى تبخر وسيط التبريد الإجراء(1- $6'$) ومن ثم يتم ضغط هذا البخار في ضاغط الدورة B أديباتياً حتى شروط النقطة (2).

يدخل البخار المضغوط إلى المبادل الحراري (المكثف المبخر) إذ يتكاثف طارحاً حرارة إلى مبخر الدورة A.

يؤخذ السائل المتكاثف (النقطة 6) إلى صمام تمدد إذ يتم تخفيض ضغطه وفق الإجراء -6) $6'$(ليدخل إلى المبخر ثانية ويكمل دورته.

الدورة A:

تؤدي الحرارة المطروحة من مكثف الدورة B إلى تبخر وسيط التبريد في مبخر الدورة A وفق الإجراء (5'-3).

يتم ضغط بخار وسيط التبريد أديباتياً (الإجراء 4-3) ومن ثم يمرر عبر مكثف (الإجراء 5-4) وصمام تمدد الإجراء (5-5') ليعود إلى المبخر ويكمل دورته.

عند دراستنا لآلة التبريد هذه افترضنا أن درجة حرارة تكاثف وسيط تبريد الدورة (B) مساوية درجة حرارة تبخر وسيط تبريد الدورة (A) ولكن يستحيل في الواقع الحصول على مثل هذه الدورة إلا إذا كان سطح التبادل الحراري بين الدورتين A و B لانهائياً.

مما سبق نفهم ضرورة وجود فرق بين درجة حرارة التبخر والتكاثف قدره ΔT لبخار وسيط التبريد في الدورتين A و B على التوالي.

نلاحظ أن آلة التبريد التسلسلية – في حالة تساوي درجتي حرارة التبخر والتكاثف – تطابق تماماً دورة التبريد المتعددة المراحل.

بفرض أن كمية وسيط التبريد الدوارة في دورة التبريد (B) تساوي 1kg ينتج:

كمية الحرارة الممتصة في مبخر الدورة B:

$$q''_o = i_1 - i_{6'} \qquad (4\text{-}56)$$

كمية الحرارة المطروحة في مكثف الدورة B تعادل:

$$q''_c = i_2 - i_6 \qquad (4\text{-}57)$$

كمية الحرارة التي يجب أن يمتصها مبخر الدورة A (منسوباً لـ 1kg من كمية وسيط التبريد في الدورة B).

$$q'_o = q''_o = i_2 - i_6 \qquad (4\text{-}58)$$

التأثير التبريدي لمبخر الدورة A (منسوباً لـ 1kg من كمية وسيط التبريد الدوارة في A)

$$q_o = i_3 - i_5 \qquad (4\text{-}59)$$

مما سبق يمكن حساب كمية وسيط التبريد g الدوارة في الدورة (A) واللازمة لتحقيق دورة 1kg من وسيط التبريد في الدورة B من المساواة التالية:

$$g \cdot (i_3 - i_5) = 1 \cdot (i_2 - i_6)$$

ومنه:

$$g = \frac{i_2 - i_6}{i_3 - i_5} \qquad (4\text{-}60)$$

تبقى ملاحظة أنه في حالة استعمال نوع وسيط التبريد نفسه في كلا الـدورتين A و B تكون كمية وسيط التبريد الدوارة في الدورة A أكبر من الكمية الدوارة في الدورة B.

يحسب معامل أداء الدورة النظرية ككل من المعادلة:

$$\varepsilon = \frac{q_o''}{w'' + gw'} \qquad (4\text{-}61)$$

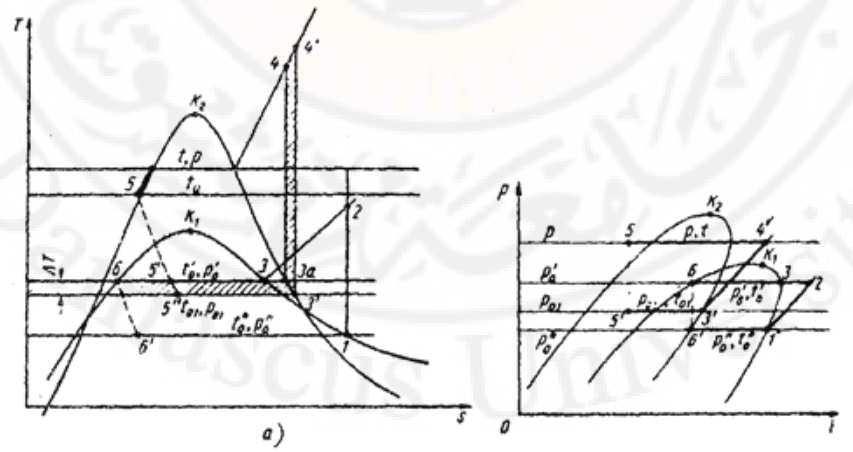
إذ: w' العمل النوعي لضاغط الدورة (A).

w'' العمل النوعي لضاغط الدورة (B).

يؤدي اختلاف قيم درجتي حرارة التكاثف والتبخر للدورتين B و A علـى التـوالي إلى انخفاض قيمة معامل الأداء المحسوبة بالمعادلة (4-61).

تكمن الميزة الرئيسة لآلات التبريد التسلسلية في إمكان الحصول على درجات تبخـر منخفضة نتيجة استعمال عدة أنواع من وسائط التبريد.

يبين الشكل (33 - 4) تمثيلاً لعمل دورة تبريد تسلسلية تعمل على وسـيطي تبريـد مختلفين على مخططي (T-s) (i-logP).



الشكل (33 - 4) تمثيل أداء آلة تبريد تسلسلية تستخدم نوعين من وسائط التبريد

من مساوئ آلة التبريد التسلسلية ارتفاع الضغط بشكل كبير في الدورة B أثناء توقف الآلة عن العمل، فعند درجة حرارة عادية تساوي 25°c يصل الضغط في الدورة B – في حالة استعمال فريون R-13 كوسيط تبريد – إلى 36.2at ضغط جوي، لذلك يتم تلافي رفع الضغط في الدورة B أثناء توقف الآلة عن العمل بإحدى الطرائق التالية:

١– ترك الدورة A بحالة عمل.

٢– تفريغ الدورة B من وسيط التبريد.

٣– وصل الدورة B بأسطوانة تمدد خاصة يكفي حجمها لاستيعاب حجم التمدد إذ تبقى قيمة الضغط ضمن الدورة B والأسطوانة مقبولين.

11 - 6 - 4– مقارنة آلة التبريد التسلسلية وآلة التبريد المتعددة المراحل:

(Comparison between series and Multi-Stage refrigerating machines)

١– من الناحية النظرية تكون قيمة معامل الأداء التبريدي لآلة التبريد المتعددة المراحل أعلى من قيمته بالنسبة لآلة التبريد التسلسلية، أما في الحالة العملية فتأتي على الأكثر نتائج معكوسة حيث تتفوق آلة التبريد التسلسلية.

٢– يكون حجم الضواغط في آلة التبريد المتعددة المراحل أكبر.

٣– تكمن أفضلية استعمال كلا النوعين من وجهة نظر الحصول على درجات حرارة التبريد منخفضة وفق الجدول السابق (1 - 4).

٤– تتطلب آلة التبريد التسلسلية تجهيزات أكبر من التجهيزات في آلات التبريد المتعددة المراحل.

جدول (1 - 4)

نوع الآلة	مجال استخدام الآلة °C		مجال الاستعمال الأمثل °C	
	t_{max}	t_{min}	t_{max}	t_{min}
آلة تبريد بمرحلتي انضغاط (R-22)	–	-80	-25	-45
آلة تبريد تسلسلية (R-13) و (R-22) بمرحلة انضغاط واحدة لكل دورة	-40	-95	-40	-85

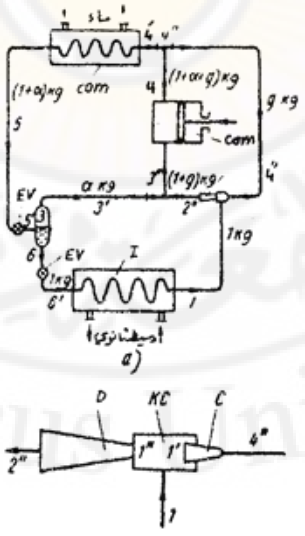
آلة تبريد تسلسلية بمرحلتي انضغاط لدورة (R-13) ومرحلة واحدة لدورة (R-22)	-80	-110	-80	-100
آلة تبريد تسلسلية بثلاث دورات ذات مراحل انضغاط أحادية تستعمل (R-14) (R-13)، (R-22)	-100	-140	-100	-135

12- 6 - 4 – دورة التبريد المؤلفة من مرحلة انضغاط واحدة مع ضاغط ناظم بخاري:

إن إضافة ضاغط ناظم بخاري (Injector) إلى دورة التبريد، يعادل في تأثيره إضافة ضاغط عادي.

يمتاز الضاغط الناظم البخاري ببساطة تركيبه ورخص ثمنه حيث يشبه الأنبوب في شكله. يتم عمل دورة التبريد هذه على الشكل التالي (شكل 34 - 4).

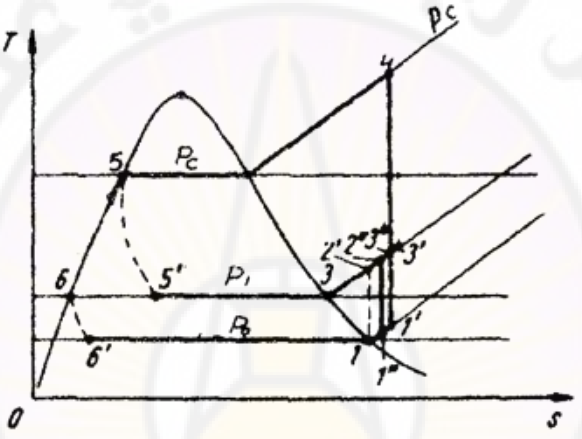
يتم امتصاص البخار الخارج من المبخر (النقطة 1) من قبل الضاغط الناظم البخاري والذي يدخل إليه أيضاً جزء من البخار الخارج من الضاغط 4 والذي يتمدد عبر تضيق الضاغط الناظم وتزداد سرعته على حساب انخفاض الضغط الستاتيكي النقطة 1.



الشكل (34 - 4) دورة التبريد مع ضاغط ناظم بخاري

يمتزج هذا البخار (1´) مع البخار الخارج من المبخر حيث يندفع هذا المزيج عبر توسع الضاغط الناظم وتنخفض سرعته على حساب زيادة ضغطه الستاتيكي (الإجراء 2´ – 1´) وهكذا نجد أنه قد تم رفع ضغط البخار الخارج من المبخر ذي الضغط P_o إلى الضغط P_1.

يمتزج البخار الخارج من الضاغط الناظم البخاري (النقطة 2´) مع البخار الخارج من الوعاء البيني (النقطة 3´) وبنتيجة المزج يتكون معنا بخار ذو مواصفات النقطة 3´ (انظر الشكل35 - 4)



الشكل (35 - 4) تمثيل أداء آلة التبريد المجهزة بضاغط ناظم بخاري على مخطط (T-s).

يتم ضغط البخار المزيج ذي مواصفات النقطة 3´ عبر الضاغط إلى ضغط النقطة 4 (الإجراء 4 – 3´)، يدخل جزء البخار الرئيس الخارج من الضاغط إلى المكثف ليتكاثف عند ضغط ثابت الإجراء (5-4) ومن ثم يتم تمدده عبر صمام الخنق EV_1 (الإجراء 5´ – 5).

ينفصل البخار عن سائل وسيط التبريد ضمن الوعاء البيني حيث يخرج البخار من الوعاء ليمتزج مع البخار القادم من الضاغط الناظم كما أسلفنا الذكر، أما سائل وسيط التبريد فيتم سوقه إلى المبخر عبر صمام الخنق EV_2 حيث يتم إجراء التبخر ممثلاً بالمستقيم (1–6) وهكذا يكمل البخار دورته.

بافتراض أن كمية البخار المارة في المبخر تساوي واحد كيلوغرام وكمية البخار المتكونة في الفاصل البيني تساوي αkg فتكون كمية وسيط التبريد المارة عبر المكثف هي $\alpha+1$كغ، وبافتراض أن كمية جزء البخار الداخل إلى الضاغط الناظم من الضاغط تساوي

gkg تكون كمية البخار التي يضغطها الضاغط هي $kg(1+\alpha+g)$ وبالتالي يعطى عمل الضاغط بالعلاقة:

$$\begin{cases} W=(1+\alpha+g)w \\ W=(1+\alpha+g)(i_4-i_{3'}) \end{cases} \quad (4\text{-}62)$$

تساوي الإنتاجية التبريدية للدورة:

$$q_o = i_1 - i_{6'} \quad (4\text{-}63)$$

ومنه يعطى معامل أداء الدورة بالمعادلة:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{W} = \frac{i_1 - i_{6'}}{(i_4 - i_{3'})(1+\alpha+g)} \quad (4\text{-}64)$$

يعبر عن العمل الذي وفرناه نتيجة استعمال الضاغط الناظم البخاري بالعلاقة:

$$\Delta i = i_{2'} - i_1 \quad (4\text{-}65)$$

وذلك على أساس أن كمية البخار المارة عبر المبخر تساوي 1kg فقط.

مقابل هذا التوفير في القدرة فإن هناك جزءاً من بخار وسيط التبريد مقداره gkg لا نستفيد منه في التبريد حيث إنه يدخل إلى الضاغط الناظم البخاري.

مما سبق نستنتج أنه بالإضافة إلى استغنائنا عن استعمال ضاغط مرحلة الضغط المنخفض فإننا صرفنا قدرة أكبر، أي أن هذه الدورة تمكننا من الحصول على تأثير تبريدي أكبر وبقدرة مصروفة أكبر.

تمكن هذه الدورة من الحصول على مجال درجات حرارة تبريد يتراوح مابين -80^oC وحتى $-100\ ^oC$ وبالتالي يمكن عدّها معادلة لآلة التبريد التسلسلية في مجال تبريدها إذا صرفنا النظر عن ارتفاع القدرة المصروفة.

تتميز هذه الدورة ببساطتها وقلة كلفة التأسيس، لذلك يفضل استعمال هذا النوع من الدورات للحصول على درجات حرارة منخفضة خلال فترة قصيرة.

أخيراً تجدر الإشارة إلى أنه توجد دورات تبريد تستعمل ضاغطين عاديين إضافة إلى ضاغط ناظم بخاري إذ يمكن بمساعدة مثل هذه الدورة الحصول على درجة حرارة تتراوح مابين $-80\ ^oC$ و $-110\ ^oC$ عند استعمال وسيط التبريد فريون R-22.

مسائل محلولة

مسألة 1

لدينا آلة تبريد ضاغط بخارية بمرحلتي انضغاط مع تبريد بين المرحلتين دون وجود وعاء بيني (فاصل سائل) تعمل هذه المجموعة ضمن الشروط التالية:

درجة حرارة الغليان $-40°c$ ، درجة حرارة التكاثف $25°c$.

توجد زيادة تبريد في المكثف حتى $22\ ^{o}C$. درجة حرارة بخار السحب عند الدخول إلى الضاغط $-30\ ^{o}C$ ، وسيط التبريد المستخدم هو الأمونيا والمطلوب حساب:

١- الإنتاجية التبريدية النوعية.

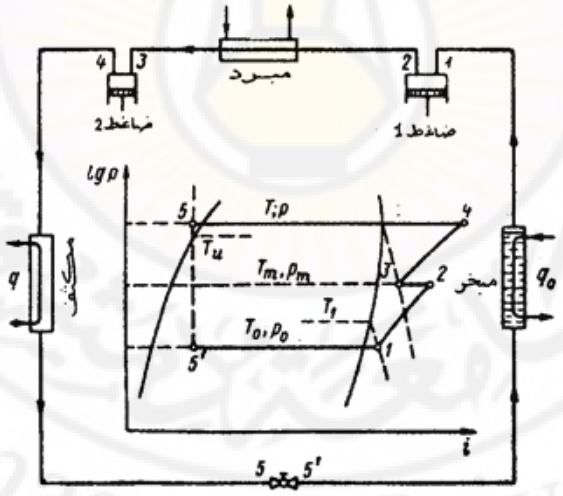
٢- الحرارة النوعية المطروحة في المكثف.

٣- كمية الحرارة المطروحة في المبرد الكائن بين المرحلتين.

٤- عمل كل من ضاغطي المرحلتين الأولى والمرحلة الثانية.

٥- معامل التبريد.

٦- نسبة حجوم السحب لكلتا المرحلتين.



علماً بأنه تجري في المبرد الكائن بين المرحلتين عملية تبريد بخار وسيط التبريد بمقدار $31°c$.

الحل:

نقوم بتحديد النقاط المحددة على المخطط (i-log P) كما في الجدول التالي:

المقاسات	النقـــــــــــــــــــــــــــــــاط					
	1	2	3	4	5	5'
P.MP$_a$ T, K i, kJ/kg v, m^3/kg	0.07179 243 1650.86 1.64	0.2683 329 1826.84 –	0.2683 298 1758.12 0.5364	1.0031 399 1969.3 –	1.0031 295 522.33 –	0.07179 233 522.33 –

يتحدد الضغط بين مرحلتي الانضغاط بالمعادلة:

$$P_m = \sqrt{P_o . P_c} = \sqrt{0.7179 \times 10.031} = 2.683 bar$$

١- الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q_o = i_1 - i_{5'} = 1650.86 - 522.33 = 1128.53 (kj/kg)$$

٢- الحرارة النوعية المطروحة في المكثف:

$$q_c = i_4 - i_5 = 1969.3 - 522.3 = 1446.97\ (kj/kg)$$

٣- الحرارة المطروحة في المبرد بين المرحلتين:

$$q = i_2 - i_3 = 1862.84 - 1758.12 = 68.72\ (kj/kg)$$

٤- عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$$w_1 = i_2 - i_1 = 1862.84 - 1650.86 = 175.98\ (kj/kg)$$

- عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$$w_2 = i_4 - i_3 = 1969.3 - 1758.12 = 211.18\ (kj/kg)$$

- عمل الدورة:

$$\Sigma w = w_1 + w_2 = 175.98 + 211.18 = 387.16\ (kj/kg)$$

٥- معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{\Sigma w} = \frac{1128.53}{387.16} = 2.91$$

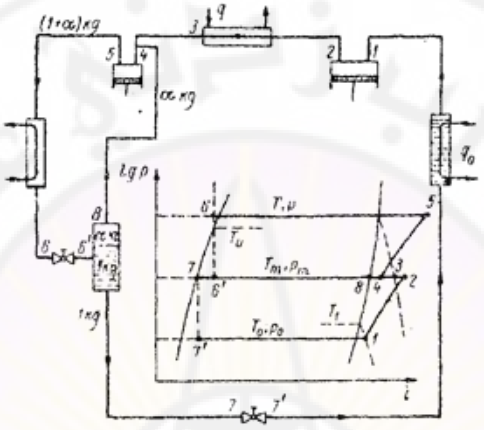
- نسبة حجوم السحب لكلتا المرحلتين:

$$\psi = \frac{V_1}{V_2} = \frac{Gv_1}{Gv_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{1.64}{0.5364} = 3.0$$

Damascus University

مسألة 2

أعد الحسابات السابقة نفسها لآلة تبريد بمرحلتي انضغاط مع وجود وعاء فاصل بين المرحلتين مع وجود تبريد بيني غير كامل بين المرحلتين وفق الدورة المبينة في الشكل:



الحل:

نقوم أولاً بتحديد بارامترات النقاط المبينة على مخطط (i-log) كما هو مبين بالجدول التالي:

القياسات	النقـــــــــــــــاط					
	1	2	3	6	7	8
P(bar)	0.7179	2.683	2.683	10.031	2.683	2.683
t.(°c)	-30	56	25	22	-12	-12
i(kj/kg)	1650.86	1826.84	1758.12	522.33	363.9	1667.87
v(m^3/kg)	1.64	–	–	–	–	–

١- الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q_o = i_1 - i_{7'} = 1650.86 - 363.9 = 1286.96(kj/kg)$$

- حساب كمية وسيط التبريد التي يمتصها ضاغط المرحلة الثانية: لدينا:

$$(1+\alpha)i_6 = 1 + i_7 + \alpha i_8 \Rightarrow \alpha = \frac{i_6 - i_7}{i_8 - i_6}$$

$$1+\alpha = \frac{i_6 - i_7}{i_8 - i_6} + \frac{i_8 - i_6}{i_8 - i_6} = \frac{i_8 - i_7}{i_8 - i_6}$$

$$1+\alpha = \frac{1667.87 - 363.9}{1667.87 - 522.33} = 1.1383(kg/kg)$$

٢- كمية الحرارة المطروحة في المبرد بين المرحلتين:

$q = i_2 - i_3 = 1826.84 - 1758.12 = 68.72\ (kj/kg)$

تتحدد حالة البخار الداخل إلى ضاغط المرحلة الثانية من معادلة التوازن التالية:

$$\alpha.i_8 + 1 \times i_3 = (1+\alpha)i_4 \Rightarrow i_4 = \frac{i_3 + \alpha \cdot i_8}{1+\alpha}$$

$$i_4 = \frac{1758.12 + 0.1383 \times 1667.87}{1.1383} = 1747.16(kj/kg)$$

بدلالة الإنتالبي i_4 والضغط P_m تتحدد درجة الحرارة t_4 $t_4 = 20.5°c$ والحجم النوعي للنقطة 4 $v_4 = 0.52\ (m3/kg)$

وكذلك الإنتالبي $i_5 = 1952.54\ (kj/kg)$ و $t_5 = 119°c$.

٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$(1+\alpha)q_c = (1+\alpha)(i_5 - i_6) = 1.1383 \times (1954.54 - 522.33) = 1630.28kj/kg$$

٤- عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$w_1 = i_2 - i_1 = 1826.84 - 1650.86 = 175.98\ kj/kg$

- عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$(1+\alpha).w_2 = (1+\alpha).(i_5 - i_4) = 1.1383\ (1952.54 - 1747.16) = 233.78\ kj/kg$

- العمل الكلي المصروف في الدورة:

$w_1 + (1+\alpha).w_2 = 175.98 + 233.78 = 409.76\ kj/kg$

٥- معامل التبريد للدورة:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w_1 + w_2 \cdot (1+\alpha)} = \frac{1286.96}{409.76} = 3.01$$

٦-نسبة حجوم السحب للمرحلتين:

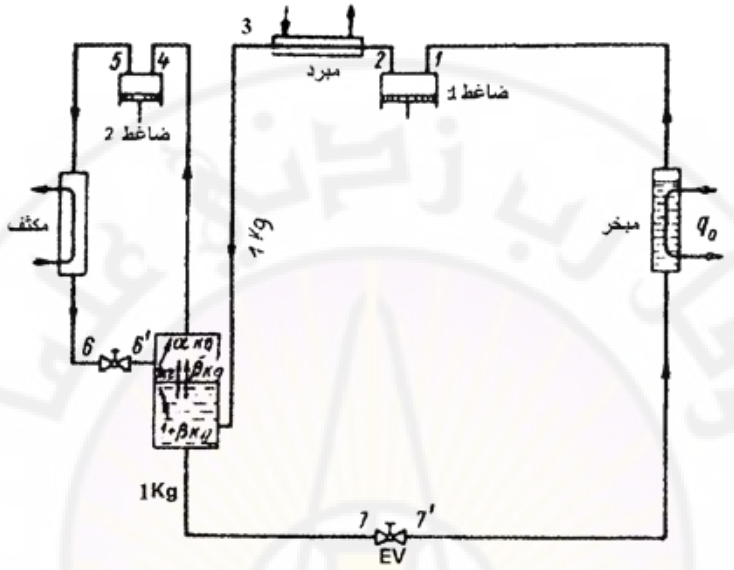
$$\psi = \frac{v_1}{(1+\alpha)v_4} = \frac{1.64}{1.1383 \times 0.53} = 2.78$$

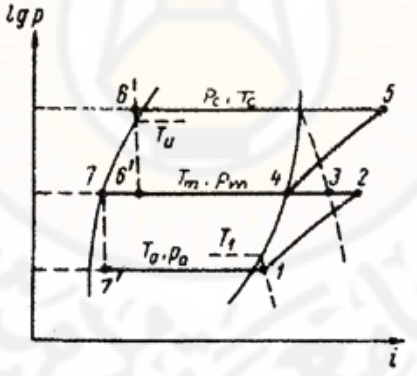
مسألة 3

أوجد قيمة الضغط العملي بين المرحلتين لآلة تبريد مكونة من مرحلتي انضغاط مع وعاء بين المرحلتين وتبريد بيني كامل، ظروف عمل آلة التبريد هي نفسها للمثالين السابقين، حسب الدورة المبينة في الشكل.

الحل:

١- الإنتاجية التبريدية $q_o = i_1 - i_7$





٢- كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

بفرض أن α: كمية بخار وسيط التبريد المتشكلة بعد صمام تمدد المرحلة الثانية.

β: كمية بخار وسيط التبريد المتشكلة لتبريد 1kg من البخار القادم من ضاغط المرحلة الأولى.

بإجراء الموازنة الحرارية للوعاء البيني نحصل على:

$$1 \times i_3 + (1 + \alpha + \beta) i_6 = (1 + \alpha + \beta) i_4 + 1 \times i_7$$

ومنه:

$$(1+\alpha+\beta)=\frac{i_3-i_7}{i_4-i_6}$$

وتكون كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$(1+\alpha+\beta)\cdot q_c=(1+\alpha+\beta)\times(i_5-i_6)=\frac{i_3-i_7}{i_4-i_6}\times(i_5-i_6)$$

٣- كمية الحرارة المطروحة في المبرد البيني:

$$q_o=i_2-i_3\left(\frac{kj}{kg}\right)$$

٤- عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$$w_1=i_2-i_1$$

عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$$w_2=(1+\alpha+\beta)\,.\,(i_5-i_4)$$

$$w_2=\frac{i_3-i_7}{i_4-i_6}\times(i_5-i_4)$$

ويكون عمل الدورة:

$$\Sigma w=w_1+w_2=(i_2-i_1)+\frac{i_3-i_7}{i_4-i_6}\times(i_5-i_4)(kj/kg)$$

٥- معامل التبريد:

$$\varepsilon=\frac{q_o}{\Sigma w}=\frac{i_1-i_7}{(i_2-i_1)+\frac{i_3-i_7}{i_4-i_6}\times(i_5-i_4)}$$

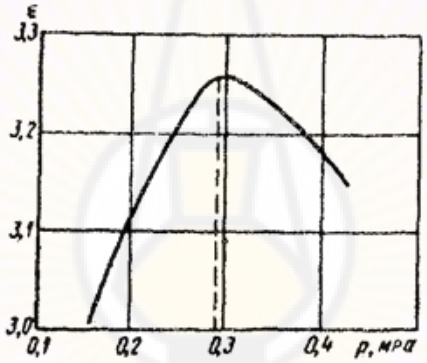
نقوم بتحديد قياسات النقاط المحددة على مخطط i-log P حسب الجدول التالي، وذلك باختيار عدة قيم للضغط P_m بين المرحلتين:

الضغط	الإنتالبي kj/kg						
P.MPa	1	2	3	4	5	6	7
0.15166	1650.86	1745.55	-	1649.68	1925.30	522.23	304.94
0.19131	1650.86	1778.23	1763.17	1657.07	1891.78	522.23	327.53
0.23642	1650.86	1810.91	1759.80	1663.93	1866.22	522.23	350.24
0.26830	1650.86	1826.84	1758.12	1667.87	1853.23	522.23	363.90
0.29094	1650.86	1846.95	1755.61	1670.42	1841.08	522.23	373.03
0.35502	1650.86	1875.86	1751.42	1676.58	1817.62	522.23	395.95
0.42958	1650.86	1908.54	1747.23	1682.36	1797.51	522.23	419.0

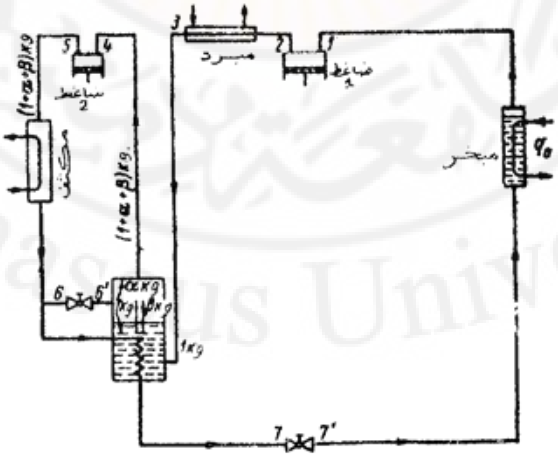
بعد التبديل عن قيم الإنتالبي الواردة في الجدول السابق في المعادلات المستخرجة في البنود ١إلى ٥ نرتب النتائج العددية وفق الجدول التالي:

P.MPa	q_o kj/kg	$(1+\alpha+\beta)$ kg/kg	$(1+\alpha+\beta)q_o$ kj/kg	q_v kj/kg	w_1 kj/kg	w_2 kj/kg	Σw	ε
0.15166	1345.91	1.2782	1792.90	-	94.69	352.30	446.99	3.011
0.19131	1323.33	1.2652	1732.64	15.08	127.38	297.01	424.39	3.118
0.23642	1300.62	1.2347	1659.33	51.12	160.06	249.77	409.83	3.174
0.26830	1286.96	1.2172	1619.83	68.72	175.98	225.61	401.59	3.205
0.29094	1277.78	1.2042	1578.05	91.34	196.09	205.51	391.61	3.263
0.35502	1254.91	1.1743	1521.09	124.44	225.00	165.62	390.62	3.213
0.42958	1231.86	1.1449	1459.96	161.42	257.69	131.83	389.52	3.163

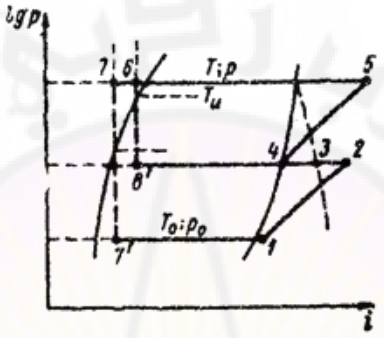
نقوم برسم الخط البياني، الممثل لقيمة معامل التبريد تبعاً للضغط بين المرحلتين حيث نجد أن أكبر قيمة لمعامل التبريد تحصل عند P_m= 2.9094 (bar).



مسألة 4



لشروط العمل نفسها الواردة في المسألة (3) وعند ضغط بيني $P_m = 2.9094bar$ أجر الحسابات الحرارية الضرورية لدورة التبريد المبينة في الشكل مع ملاحظة أن فرق درجة الحرارة $t_7 - t_m = 5°c$.



الحل:

$$P = 10.031bar\ ,\ t_7 = 263 + 5 = 268k°\ ,\ i_7 = 391.96\ (kj/kg)$$

الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q_o = i_1 - i_7 = 1650.86 - 391.96 = 1258.9\ (kj/kg)$$

كمية وسيط التبريد التي يضغطها ضاغط المرحلة الثانية:

$$1 + \alpha + \beta = \frac{i_3 - i_7}{i_4 - i_6} = 1.1877(kg/kg)$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$(1 + \alpha + \beta).q_c = \frac{i_3 - i_7}{i_4 - i_6} \times (i_5 - i_6) = 1566.28(kj/kg)$$

كمية الحرارة المطروحة في المبرد:

$$q = i_2 - i_3 = 1846.95 - 1755.61 = 91.34\ (kj/kg)$$

كمية الحرارة التي يفقدها وسيط التبريد المار في الانبوب الحلزوني داخل الوعاء الفاصل: $q' = i_6 - i_7 = 522.33 - 395.95 = 126.38(kj/kg)$

عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$$w_1 = i_2 - i_1 = 1846.95 - 1650.86 = 196.09\ (kj/kg)$$

عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$$(1 + \alpha + \beta)\, w_2 = (1 + \alpha + \beta) \times (i_5 - i_4)$$
$$= 1.1877 \times (1841.08 - 1670.42) = 202.63 \text{ kj/kg.}$$

عمل الدورة:

$$\Sigma w = w_1 + (1 + \alpha + \beta)\, w_2 = 196.09 + 202.63 = 398.72 \text{ (kj/kg)}$$

معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{\Sigma w} = \frac{1258.9}{398.72} = 3.175$$

مسألة 5

لدينا آلة تبريد مكونة من مرحلتين مع وعاء فاصل بين المرحلتين بحيث يحقق تبريداً بينياً كاملاً.

لدينا: $T_o = 233k°$ درجة حرارة الغليان في المبخر الرئيس.

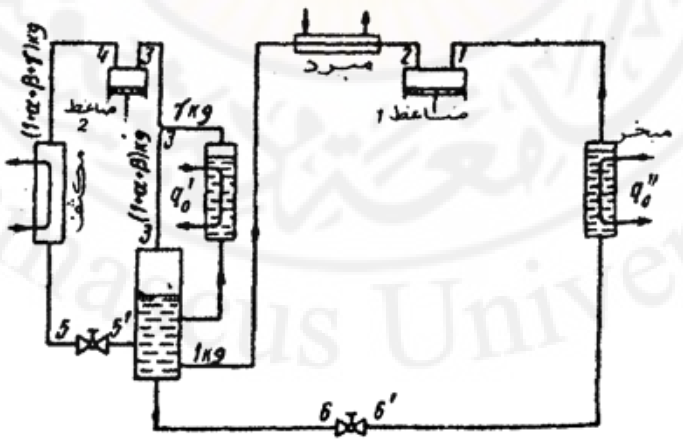
$T`_o = 253k°$ درجة حرارة الغليان في المبخر الثانوي.

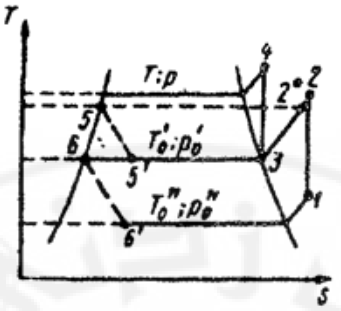
$T_1 = 238k°$ درجة حرارة السحب.

$T_2 = 298k°$ درجة حرارة التكاثف.

ولدينا زيادة تبريد حتى الدرجة 295k° ، دورة التبريد مبينة في الشكل المجاور:

وسيط التبريد المستخدم هو الأمونيا





كما أن الإنتاجية التبريدية لكلا المبخرين متساوية أي $Q_o = Q`_o$.

الحـــل:

بعد تحديد قيم إنتالبي النقاط المختلفة ننظم الجدول التالي:

المقاسات	النقـــاط						
	1	2	2`	3	4	5	6
P.MPa	0.07179	0.19131	0.19131	0.19131	1.0031	1.0031	0.19131
T, K	238	299	295	253	371.5	295	253
i, kj/kg	1641.64	1768.18	1751.42	1653.00	1900.16	522.32	327.00
$v.m^3/kg$	1.6	-	-	0.624	-	-	-

الإنتاجية التبريدية النوعية في المبخر الرئيس:

$$q_o = i_1 - i_6 = 1641.64 - 327 = 1314.64 \text{ kj/kg}$$

كمية وسيط التبريد المتدفقة عبر المبخر الثانوي:

$$i_1 - i_6 = \gamma (i_3 - i_5)$$

$$\gamma = \frac{i_1 - i_6}{i_3 - i_5} = \frac{1641.64 - 327}{1653 - 522.32} = 1.162(\frac{kg}{kg})$$

$$1 + \alpha + \beta = \frac{i_{2'} - i_6}{i_3 - i_5} = \frac{1751.42 - 327}{1653 - 522.32} = 1.258(\frac{kg}{kg})$$

كمية وسيط التبريد المارة عبر ضاغط المرحلة الثانية:

$$1 + \alpha + \beta + \gamma = 1.162 + 1.258 = 2.42 \text{ (kg/kg)}$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$q_c = (1 + \alpha + \beta + \gamma) \times (i_4 - i_5) = 2.42 \ (1900.16 - 522.32) = 16.76(\text{kj/kg})$$

- عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$$w_1 = i_2 - i_1 = 1768.18 - 1641.64 = 126.5 \ (kj/kg)$$

عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$$(1 + \alpha + \beta + \gamma).w_2 = (1 + \alpha + \beta + \gamma)\ (i_4 - i_5) = 2.42\ (1900.16 - 1653) = 592 \ (kj/kg)$$

نسبة حجوم السحب لمرحلتي الانضغاط:

$$\psi = \frac{v_2}{v_1} = \frac{(1+\alpha+\beta+\gamma)v_3}{v_1} = 2.42.\frac{0.624}{1.6} = 0.945$$

مسألة 6

أجر الحسابات اللازمة لآلة تبريد مؤلفة من مرحلتي انضغاط (ضاغط – ضاغط ناظم بخاري) مع تبريد بيني كامل بين المرحلتين وذلك ضمن الشروط التالية:

$T''_o = 223\ k°$ درجة حرارة الغليان.

$T'_o = 243\ k°$ درجة حرارة الغليان في الوعاء الفاصل.

$T_c = 299\ k°$ درجة حرارة التكاثف.

$T_1 = 228\ k°$ درجة حرارة خروج وسيط التبريد من المبخر.

وسيط التبريد هو الأمونيا وهنالك زيادة تبريد في المكثف بمقدار 3°c. حدد:

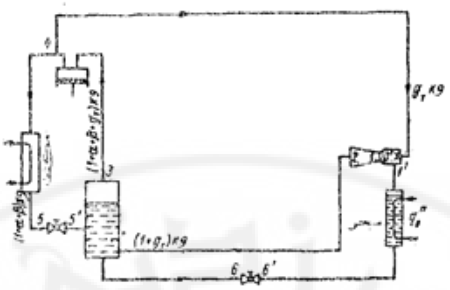
١- كمية وسيط التبريد المارة في الضاغط الناظم البخاري واللازمة لتحقيق عملية انضغاط 1kg من وسيط التبريد في ضاغط المرحلة الأولى.

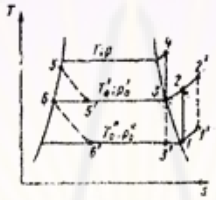
٢- الإنتاجية التبريدية النوعية.

٣- كمية الحرارة المطروحة في المكثف.

٤- عمل الضاغط.

٥- معامل التبريد.





الحل:

كمية وسيط التبريد g:

$$g = \frac{i_{2'} - i_{1'}}{i_4 - i_3} = \frac{1755.61 - 1621.53}{1931 - 1643.73} = 0.473(kg/kg)$$

الإنثالبي بعد عملية المزج في الصاعط الناظم البخاري:

$$i_{1'} + g i_{3'} = (1+g) i_1$$

$$i_1 = \frac{1621.53 + 0.473 \times 1526}{1 + 0.473} = 1590(\frac{kj}{kg})$$

المقاسات	النقـــــاط			
	1	2	1`	2`
P, Mpa	0.0409	0.1196	0.0409	0.1196
T, k°	223	-	228	-
i, kj/kg	1592.2	2011.2	1621.5	1755.6
v, m^3/kg	-	-	-	-

المقاسات	النقـــــــاط				
	3	3`	4	5	6
P, Mpa	0.1196	0.0409	0.8575	0.8575	0.1196
T, k°	243	223	-	290	243
i, kj/kg	1643.7	1526.0	1931.5	498.6	280.7
v, m^3/kg	0.963	-	-	-	-

عملية الانضغاط التي تتم في الديفيوزر اديباتية لذلك يكون من السهل ايجاد إنتالبي النقطة 2 و 3` إذ يتم التمدد أيضاً بثبوت الأديبات.

تتحدد كمية وسيط التبريد المارة في المكثف من العلاقة:

$$(1 + \alpha + \beta)\, i_5 + (1 + g)\, i_2 = i_6 + (1 + \alpha + \beta + g)\, i_3$$

ومنه:

$$(1+\alpha+\beta) = \frac{i_2 + g(i_2 - i_3) - i_6}{i_3 - i_5}$$

$$(1+\alpha+\beta) = \frac{2011.2 + 0.473(2011.2 - 1643.73) - 280.73}{1643.73 - 498.61} = 1.275 \ \ kg/kg$$

الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q_o = i_1 - i_6 = 1621.5 - 280.7 = 1340.8(\frac{kj}{kg})$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$q = (1 + \alpha + \beta) \,.\, (i_4 - I_5)$$
$$= (1931.59 - 498.61) \times 1.275 = 1920 \ (kj/kg)$$

عمل الضاغط:

$$(1 + \alpha + \beta + g)(i_4 - i_3) = (1.275 + 0.475)\,(1931.59 - 1643.73) =$$
$$= 502.8 \ kj/kg$$

معامل التبريد:

$$= \frac{i_1 - i_6}{(1 + \ \ + \ \ + g)(i_4 - i_3)} = \frac{1621.53 - 280.73}{502.8}$$

$$\varepsilon = 2.67$$

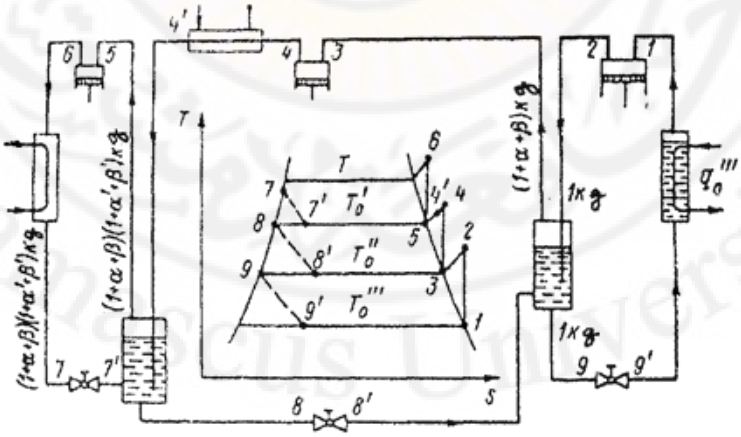
مسألة 7:

لدينا آلة التبريد مؤلفة من ثلاث مراحل انضغاط مع أخذ بيني للبخار وتبريد بيني كامل ضمن شروط العمل التالية:

درجة حرارة غليان وسيط التبريد $T_o'''=223K$، درجة حرارة التكاثف $T_k=303K$، درجة حرارة البخار عند دخوله إلى مرحلة الضغط المنخفض $T_1=T_o'''$ ، توجد زيادة تبريد في المكثف حتى 301K، وسيط التبريد المستخدم هو الأمونيا، والمطلب حساب:

١. الإنتاجية التبريدية النوعية
٢. عمل ضاغط مرحلة الضغط المنخفض (المرحلة الأولى)
٣. عمل ضاغط مرحلة الضغط المتوسط (المرحلة الثانية)
٤. عمل ضاغط مرحلة الضغط العالي (المرحلة الثالثة)
٥. عمل الدورة
٦. كمية الحرارة المطروحة في المكثف.
٧. كمية الحرارة المطروحة في المبرد المائي بين المرحلتين الثانية والثالثة.
٨. معامل التبريد.
٩. نسبة حجوم السحب للمراحل الثلاثة.

علماً بأنه تجري في المبرد الكائن بين المرحلتين الثانية والثالثة عملية تبريد بمقدار 15^oC.



الحل:

نقوم بتحديد النقاط المحددة على المخطط (T-s) كما في الجدول التالي:

المقاسات	النقـــــــــــــــــاط									
	1	2	3	4	4`	5	6	7	8	9
P, Bar	0.409	1.248	1.248	3.816	3.816	3.816	11.669	11.669	3.816	1.248
T,K	223	286	244	318	303	270	348	301	270	244
i, KJ/kg	1609.4	1740.5	1643.7	1796.7	1761.5	1678.9	1835.8	551.15	405.13	286.97
v, m^3/Kg	2.623		0.92			0.322				

نحدد الضغطين البينيين بين مراحل الانضغاط كالتالي:

$$P_o` = \sqrt[3]{P_c^2 \cdot P_0} = \sqrt[3]{(11.69)^2 \times 0.409} = 3.816 \quad \text{Bar}$$

$$P''_o = \sqrt[3]{P_c \cdot P_0^2} = \sqrt[3]{11.69 \times (0.409)^2} = 1.248 \quad \text{Bar}$$

١. الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q'''_o = i_1 - i_9 = 1609.37 - 286.97 = 1322.4 \text{ KJ/Kg}$$

٢. عمل ضاغط المرحلة الأولى:

$$w_1 = i_2 - i_1 = 1740.52 - 1609.37 = 131.15 \text{ KJ/Kg}$$

٣. عمل ضاغط المرحلة الثانية:

$$(1+\alpha+\beta)w_2 = (1+\alpha+\beta)(i_4 - i_3) = \frac{i_2 - i_9}{i_3 - i_8}(i_4 - i_3) =$$

$$= \frac{1740.52 - 286.97}{1643.65 - 405.13}(1796.67 - 1643.65) = 179.6 KJ/Kg$$

٤. عمل ضاغط المرحلة الثالثة:

$$(1+\alpha+\beta)(1+\alpha'+\beta')w_3 = \frac{(i_2 - i_8)}{i_3 - i_8} \cdot \frac{i_{4'} - i_8}{i_5 - i_7}(i_6 - i_5) =$$

$$= 1.176 \frac{1761.47 - 405.13}{1678.93 - 551.15}(1835.84 - 1678.93) = 220.5 KJ/Kg$$

٥. عمل الدورة:

$$w_1 + (1+\alpha+\beta)w_2 + (1+\alpha+\beta)(1+\alpha`+\beta`)w_3 =$$
$$= 131 + 179.6 + 220.5 = 531.1 \text{ KJ/Kg}$$

٦. كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$$(1+\alpha+\beta)(1+\alpha`+\beta`)q_c = (1+\alpha+\beta)(1+\alpha`+\beta`)(i_6 - i_7) =$$
$$= 1.176 \times 1.2(1835.84 - 551.15) = 1816 \text{ KJ/Kg}$$

٧. كمية الحرارة المطروحة في المبرد المائي:

$$(1+\alpha+\beta)q = (1+\alpha+\beta)(i_4 - i_{4'}) =$$
$$= 1.176(196.67 - 1761.47) = 41.4 \text{ KJ/Kg}$$

٨. معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{q_0'''}{w_1 + (1+\alpha+\beta)w_2 + (1+\alpha+\beta)(1+\alpha'+\beta')w_3} = \frac{1322.4}{531.1} = 2.48$$

٩. نسبة حجوم السحب:

$$\frac{V'}{V''} = \frac{(1+\alpha+\beta)(1+\alpha'+\beta')v_5}{(1+\alpha+\beta)v_3} = \frac{1.176\times1.2\times0.322}{1.176\times0.92} = 0.42$$

$$\frac{V''}{V'''} = \frac{(1+\alpha+\beta)v_3}{v_1} = \frac{1.176\times0.92}{2.623} = 0.412$$

مسألة 8:

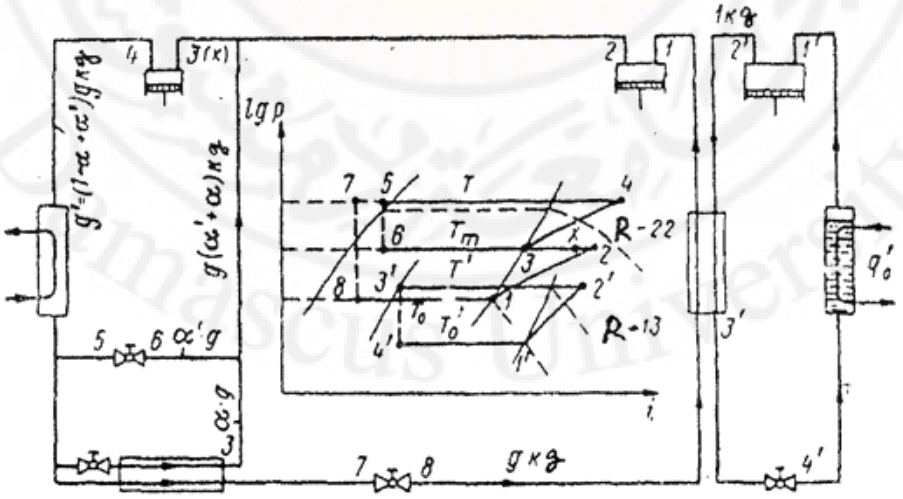
لدينا آلة تبريد تسلسلية تتألف من فرعين. الفرع السفلي هو آلة تبريد بمرحلة انضغاط واحدة تعمل على R13، أما الفرع العلوي فهو آلة تبريد بمرحلتي انضغاط تعمل على R22. تعمل هذه الآلة ضمن الشروط التالية:

درجة حرارة تكاثف R22، 293K

درجة حرارة غليان R22، 198K

درجة حرارة تكاثف R13، 203K

درجة حرارة غليان R13، 173K



تؤخذ درجة حرارة النقطة 7 أعلى بمعدل $5C^{o}$ من درجة الحرارة T_m.

والمطلوب إجراء الحسابات التالية لـ1Kg من وسيط التبريد الدائر في الفرع السفلي:

١. الإنتاجية التبريدية النوعية.

٢. عمل ضاغط الفرع السفلي.

٣. كمية وسيط التبريد الدائر في مرحلة الضغط المنخفض للفرع العلوي منسوبة لـ1Kg من وسيط التبريد للفرع السفلي.

٤. كمية وسيط التبريد الدائرة في مرحلة الضغط العالي للفرع العلوي منسوبة لـ1Kg من وسيط التبريد للفرع السفلي.

٥. عمل ضاغط المرحلة الأولى للفرع العلوي.

٦. عمل ضاغط المرحلة الثانية للفرع العلوي.

٧. كمية الحرارة المطروحة في المكثف.

٨. معامل التبريد.

الحل :

يتحدد الضغط بين مرحلتي الانضغاط للفرع العلوي كالتالي:

$$P_m = \sqrt{P_c \cdot P_o} = \sqrt{9.097 \times 0.1468} = 1.155 \quad \text{bar}$$

يوافق هذا الضغط درجة حرارة بينية $T_m = 235K$. نقوم بتحديد بارمترات النقاط المبينة على المخطط T-s وندرجها في الجدول التالي:

القياسات	النقـــــــــــــاط								
	1`	2`	3`	1	2	3	4	5	7
P, Bar	0.333	1.802	1.802	01468	1.155	1.155	9.097	9.097	9.097
T,K	173	228	203	198	260	235	328	290	240
i, KJ/Kg	458.94	485.49	327.92	670.75	722	688.29	739.2	522	462.25
v, m^3/Kg	4.4722			1.9276		1.8156			

١. الإنتاجية التبريدية النوعية:

$$q`_o = i_{1`} - i_{3`} = 458.94 - 327.92 = 131.02 \text{ KJ/Kg}$$

٢. عمل ضاغط الفرع السفلي:

$$w` = i_{2`} - i_{1`} = 485.49 - 458.94 = 26.55 \text{ KJ/Kg}$$

٣. كمية وسيط التبريد الدائرة في مرحلة الضغط المنخفض للفرع العلوي:

نحسب أولاً كمية الحرارة التي يجب أن يسحبها مبخر الفرع العلوي:

$$q` = i_{2`} - i_{3`} = 485.49 - 327.92 = 157.57 \text{ KJ/Kg}$$

ثم نحسب ثانياً الإنتاجية التبريدية النوعية للفرع العلوي:

$$q_o = i_1 - i_7 = 670.75 - 462.25 = 208.5 \text{ KJ/Kg}$$

وعليه فإن كمية وسيط التبريد الدائرة في مرحلة الضغط المنخفض للفرع العلوي تحسب بالعلاقة:

$$g = \frac{q'}{q_o} = \frac{157.57}{208.5} = 0.756 \text{ Kg/Kg}$$

٤. كمية وسيط التبريد في مرحلة الضغط العالي للفرع العلوي:

$$g` = g(1+\alpha+\alpha`)$$

إذ :

α –كمية وسيط التبريد اللازمة لإحداث إجراء التبريد (7 - 5) في المبادل الحراري.

$\alpha`$ – كمية وسيط التبريد اللازمة لانتزاع حرارة التحميص وإيصال البخار المحمص إلى حالة الإشباع قبل دخول إلى ضاغط الضغط العالي.

يمكن تحديد قيمة $\alpha`$ من معادلة التوازن الحراري للمبادل الحراري:

$$(i_5 - i_7) = \alpha(i_3 - i_5)$$

$$\alpha = \frac{i_5 - i_7}{i_3 - i_5} = \frac{52 - 462.25}{688.29 - 522} = 0.359 \text{ Kg/Kg}$$

فيما لو افترضنا عدم وجود كمية وسيط التبريد $\alpha`$ فإن حالة البخار قبل الضاغط تحدد بالعلاقة:

$$gi_2 + \alpha gi_3 = (1+\alpha)gi_x$$

وبالتالي :

$$i_x = \frac{i_2 + \alpha \cdot i_3}{1+\alpha} = \frac{722 + 0.359 \times 688.29}{1 + 0.359} = 713 \text{ KJ/Kg}$$

تحدد قيمة $\alpha`$ من معادلة المزج:

$$g(1+\alpha)i_x + g\alpha` i_6 = (1+\alpha+\alpha`)gi_3$$

$$\alpha' = \frac{(1+\alpha)(i_4 - i_3)}{(i_3 - i_6)} = \frac{(1+0.359)(713-688.29)}{688.29-522} = 0.2 \text{ kg/kg}$$

وبالتالي فإن:

$g` = 0.756(1+0.359+0.2) = 1.179$ kg/kg

٥. عمل ضاغط المرحلة الأولى للفرع العلوي:

$gw_1 = g(i_2 - i_1) = 0.756(722 - 670.75) = 38.74$ kJ/kg

٦. عمل ضاغط المرحلة الثانية للفرع العلوي:

$g`w_2 = g`(i_4 - i_3) = 1.179(739.2 - 688.29) = 60$ kJ/kg

٧. كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

$g`q_c = g`(i_4 - i_5) = 1.179(739.2 - 522) = 256$ kJ/kg

٨. معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{i_{1'} - i_{3'}}{(i_{2'} - i_{1'}) + g(i_2 + i_1) + g'(i_4 - i_3)} = \frac{131.02}{26.55 + 38.74 + 60} = 1.045$$

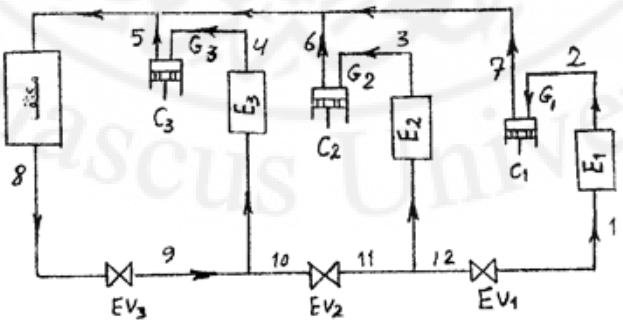
مسألة (9):

يبين الشكل (a) نظام تبريد متعدد الأحمال، يحوي ثلاثة مبخرات E_1، E_2، E_3 بدرجات حرارة مختلفة درجة حرارة التكاثف 40^oC والإنتاجية التبريدية لكل من المبخرات 70kw، 105 kw، 35 kw على التوالي، ودرجة حرارة الغليان في كل منها -5^oC، -0^oC، 5^oC على التوالي.وسيط التبريد المستخدم R12.

والمطلوب إيجاد :

١. الاستطاعة اللازمة لتشغيل النظام (استطاعة الضواغط).

٢. معامل التبريد.



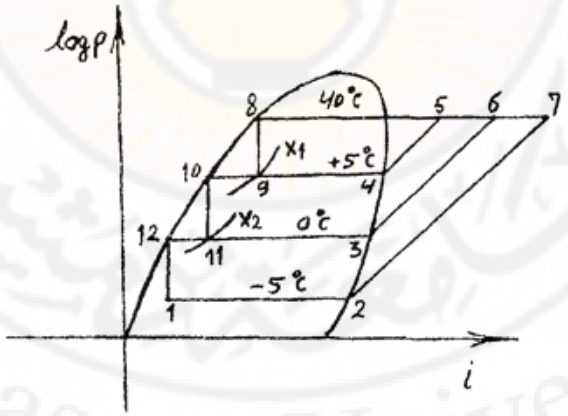
(الشكل a)

الحل :

نمثل إجراءات الدورة على مخطط log p-i كما هو موضح في الشكل (b):

نقوم بتحديد بارمترات النقاط المميزة بالاستعانة بجداول ومخططات R12.

النقطة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t, °C	-5	-5	0	-5				40	+5	+5	0	0
P, bar	2.610 8	2.610 8	3.088 9	3.630 7	9.654 4	9.654 4	9.654 4	9.654 4	3.630 7	3.630 7	3.088 9	3.088 9
i, kJ/kg	134.94	286.1	288.33	290.51	308	308.7	309.5	173.97	173.97	139.51	139.51	134.94
s, kJ/kgk		2.3447	2.3445	2.3423								
x, kg/kg									0.23		0.03	



(الشكل b)

كمية وسيط التبريد الداخلة إلى الضاغط الأول :

$$G_1 = \frac{Q_{01}}{i_2 - i_1} = \frac{70}{286.1 - 134.94} = 0.463 \ \text{Kg/s}$$

كمية وسيط التبريد الداخلة إلى الضاغط الثاني:

$$G_2 = G_{l2} + \frac{G_1 + G_{l2}}{1 - x_2} \cdot x_2$$

إذ: G_{l2}ـ كمية سائل وسيط التبريد الداخلة إلى المبخر E_2.

أما الحد الثاني من الطرف اليميني يمثل كمية البخار التي تدخل إلى المبخر E_2 والمتشكلة بعد صمام الخنق Ev_2.

$$G_{l2} = \frac{Q_{02}}{i_3 - i_{l2}} = \frac{105}{288.33 - 134.94} = 0.68 \ \text{Kg/s}$$

$$G_2 = 0.68 + \frac{0.463 + 0.68}{1 - 0.03} \cdot 0.03 = 0.715 \ \text{Kg/s}$$

كمية وسيط التبريد الداخلة إلى الضاغط الثالث:

$$G_3 = G_{l3} + (G_2 - G_{l3}) \frac{x_1}{1 - x_1}$$

إذ : G_{l3} – كمية سائل وسيط التبريد الداخلة إلى المبخر E_3.

أما الحد الثاني من الطرف اليميني يمثل كمية البخار التي تدخل إلى المبخر E_3 والمتشكلة بعد صمام الخنق EV_3

$$G_{l3} = \frac{Q_{03}}{i_4 - i_{l0}} = \frac{35}{290.51 - 139.51} = 0.232 \ \text{Kg/s}$$

$$G_3 = 0.232 + (0.232 + 0.715) \frac{0.228}{1 - 0.228} = 0.51 \ \text{Kg/s}$$

استطاعة الضاغط الأول:

$$N_1 = G_1(i_7 - i_2) = 0.463(309.5 - 286.1) = 10.83 \ \text{KW}$$

استطاعة الضاغط الثاني:

$$N_2 = G_2(i_6 - i_3) = 0.715(308.7 - 288.33) = 14.57 \ \text{KW}$$

استطاعة الضاغط الثالث:

$$N_3 = G_3(i_5 - i_4) = 0.51(308 - 290.51) = 8.92 \ \text{KW}$$

الاستطاعة الكلية اللازمة لتشغيل النظام :

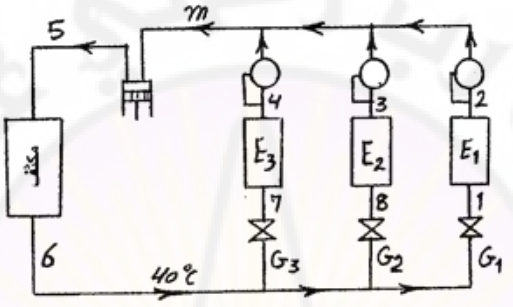
$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 10.83 + 14.57 + 8.92 = 34.32 \ \text{KW}$$

معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{\sum Q_0}{N} = \frac{70 + 105 + 35}{34.32} = 6.1$$

مسألة (10):

نظام تبريد متعدد الأحمال كما هو موضح على الشكل (a) يستخدم فيه R_{12} كوسيط تبريد. الإنتاجية التبريدية لكل من المبخرات 35 KW، 70 KW، 25 KW على التوالي، ودرجة حرارة الغليان في كل منها -10 °C، 5 °C، 10 °C على التوالي.



الشكل (a)

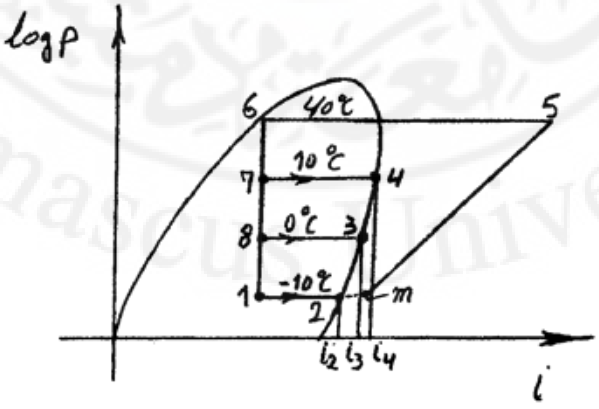
والمطلوب إيجاد:

١. الاستطاعة اللازمة لتشغيل النظام.

٢. معامل التبريد.

الحل:

نقوم بتمثيل إجراءات الدورة على المخطط log p-i كما هو موضح على الشكل (b)



الشكل (b)

نحدد بارمترات النقاط المميزة بالاستعانة بجداول ومخططات R12.

النقطة	1	2	3	4	5	6	7	8
t, °C	-10	-10	0	10		40	10	0
p, Bar	2.1915	2.1915	3.0889	4.2415		9.6544	4.2415	3.00889
i, kJ/Kg	173.94	283.85	288.33	292.65	315.5	173.94	173.94	173.94
s, kJ/kgk					2.366			

كمية وسيط التبريد الداخلة إلى المبخر E_1:

$$G_1 = \frac{Q_{01}}{i_2 - i_1} = \frac{35}{283.85 - 173.94} = 0.318 \text{ kg/s}$$

كمية وسيط التبريد الداخلة المبخر E_2 :

$$\text{kg/s}\frac{Q_{02}}{i_3 - i_8} = \frac{70}{288.33 - 173.94} = 0.6\,G_2 =$$

كمية وسيط التبريد الداخلة المبخر E_3 :

$$\text{kg/s}\frac{Q_{03}}{i_4 - i_7} = \frac{35}{292.65 - 173.94} = 0.295\,G_3 =$$

نجد انتالبي مزيج وسيط التبريد الخارج من المبخرات والداخل إلى الضاغط:

$$i_m = \frac{G_1 \cdot i_2 + G_2 \cdot i_3 + G_3 \cdot i_4}{G_1 + G_2 + G_3}$$

$$i_m = \frac{0.318 \times 283.85 + 0.6 \times 288.3 + 0.295 \times 292.65}{0.318 + 0.6 + 0.295} = 288.2 \text{kJ/kg}$$

بدلالة i_m نجد s_m من الجدول فيكون $s_m = 2.366$ KJ/KgK

ومن ثم نجد $i_5 = 315.5$ KJ/Kg

استطاعة الضاغط

$$N = (G_1 + G_2 + G_3)(i_5 - i_m) = 1.213(315.5 - 288.2) = 33.1 \text{ KW}$$

معامل التبريد:

$$\varepsilon = \frac{140}{33.1} = 4.23$$

الفصل الخامس

الضواغط

Compressors

مقدمة :

الضواغط هي الآلات التي تستعمل لضغط الغاز، أي للانتقال بالغاز أو البخار من ضغط منخفض إلى ضغط أعلى. إن الضاغط يحدد بشكل كبير المؤشرات الفنية-الاقتصادية لإنتاجية و استثمار آلات التبريد.

و تقسم الضواغط من حيث مبدأ التأثير إلى قسمين رئيسين هما :

أ – الضواغط الحجمية (ذات الانضغاط الحجمي) :

في هذه الضواغط تتم عملية ضغط الغاز بإنقاص حجم الفراغ العامل إذ تتم عملية الانضغاط وطرد الغاز المضغوط بشكل دوري وينتسب إلى هذا النوع كل من الضواغط المكبسية والدورانية والحلزونية .

الضواغط الحجمية تسمى أحياناً الآلات ذات التأثير السكوني وذلك لأن حركة الغاز أثناء الانضغاط تتم ببطء .

ب – الضواغط التحريكية (ذات التأثير الديناميكي) :

تتم عملية الانضغاط في هذا النوع من الضواغط بتحريك الغاز حركة قسرية إذ تتحول الطاقة الحركية للغاز إلى طاقة ضغط . كثافة المادة العاملة تزداد بالتدريج من مدخل الضاغط إلى مخرجه .

تتميز عملية الانضغاط في هذا النوع من الضواغط بأنها مستمرة وينتمي إلى هذا النوع كل من الضواغط الطاردة المركزية والضواغط المحورية (التوربينية) .

وتقسم الضواغط بحسب تصميم الأجزاء العاملة الأساسية إلى المجموعتين التاليتين:

أ – المكبسية ، الحلزونية ، الدورانية ذات الشفرات المنزلقة ، الدورانية ذات الأسطوانة الدوارة والمنزلقة وغيرها الكثير من الضواغط ذات مبدأ التأثير الحجمي.

ب – الآلات الضاغطة ذات الريش، مثل الطاردة المركزية ، المحورية ، الإعصارية، والتي جميعها ترتكز على مبدأ التأثير الديناميكي .

بغض النظر عن كيفية بناء وعمل الضاغط هناك ثلاثة أمور تميز الضاغط وهي :

١ – نسبة الانضغاط $\varepsilon = P_d / P_S$

إذ :

P_d – الضغط النهائي أو ضغط الدفع .

P_S – الضغط الإبتدائي أو ضغط السحب .

٢ – تصريف الضاغط خلال واحدة الزمن (تدفق كتلي أو حجمي) .

٣ – الاستطاعة المصروفة لتحقيق عملية الانضغاط .

بالإضافة إلى الأمور الثلاثة سابقة الذكر فإنه يجب الأخذ بالحسبان العوامل التالية : عدد الدورات n ، ضغط ودرجة حرارة السحب للغاز T_S ، P_S الخواص الفيزيائية للغاز العامل كالحرارة النوعية ومعادلة الحالة للغاز والثابت الأديباتي K وسرعة الصوت ... الخ .

إن ظروف عمل الضواغط التبريدية تختلف عن ظروف عمل الضواغط الصناعية العامة (ذات المهمات العامة) بما في ذلك الهوائية . ظروف عمل الضواغط التبريدية تتصف بالخصائص التالية :

١ – بسبب تغير الشروط الخارجية لآلة التبريد فإن الضاغط يعمل في مجال واسع لتغير ضغطي الدفع والسحب وعند فرق كبير لهذين الضغطين .

٢ – إن الكثير من وسائط التبريد (مثل الفريونات) تنحل بسهولة مع الزيت وهذا يبدي تأثيراً كبيراً في العمليات في ضاغط التبريد (الذي يعمل بوجود الزيت) ويقلل من وثوقية المضاجع (كراسي التحميل) .

٣ – البخار المسحوب إلى الضاغط ذي درجة حرارة منخفضة ويمكن أن يحوي قطيرات سائلة من وسيط التبريد .

٤ – العمليات في الضاغط المكبسي يمكن أن تكون مصحوبة بتكاثف بعض الكميات من وسيط التبريد على السطوح الداخلية للأسطوانة وتبخرها فيما بعد .

٥ – إن العديد من الوسائط التبريدية (الفريونات مثلاً) تتمتع بدرجة اختراق عالية ليس فقط عبر الوصلات والشقوق وإنما عبر الجوانات والمثبتات أيضاً .

٦ – ضواغط آلات التبريد تعمل على وسائط تبريدية تتمتع بمجال كبير لتغير الخواص الفيزيائية والكيميائية مثل : الكثافة ، اللزوجة ، السيولة ، الثبات الكيميائي والفعالية.

الخاصة المهمة للضواغط ذات التأثير الحجمي هي إمكان عملها على أي وسيط تبريدي دون تغير التصميم .هذه الضواغط تعمل عند وجود الزيت في الفراغ العامل. أما

الخاصة المهمة للضواغط التحريكية هو الغياب التام للزيت في الحجم العامل لأنها تعمل على الوسيط التبريدي الذي لا يحوي زيتاً.

أهم المتطلبات الواجب توافرها في الضواغط التبريدية :

١ – الوثوقية العالية (الأمان) وتأمين نظام العمل المحدد لآلة التبريد.

٢ – الفعالية الطاقية العالية في مجال واسع لتغير بارامترات عمل الضاغط (انخفاض الضغوط و مستوى ارتفاعها) وأيضاً الإنتاجية العالية.

٣ – إمكان الأتمتة الكاملة لعمل الضاغط ووثوقية استثماره دون عامل خدمة .

٤ – أن تكون درجة الإحكام عالية .

٥ – أن تكون سرعات حركة البخار منخفضة في الصمامات والمسالك التي يتدفق خلالها وسيط التبريد .

٦ – توافر المعادن والمواد اللازمة للتصنيع وأن تكون كمية المواد والمعادن اللازمة أقل ما يمكن (حجم أصغري) .

٧ – أن يكون مستوى الضجيج والاهتزازات الميكانيكية منخفض .

إن اختيار هذا النوع أو ذاك من الضواغط يتعلق بشروط العمل والإنتاجية التبريدية المطلوبة وخواص وسيط التبريد.

يتم علمياً الاختيار على أساس الحسابات الفنية – الاقتصادية فقط .

يتحدد بشكل رئيس مجال استخدام ضاغط معين بضغط الدفع ومعدل التصريف، وكمثال على ذلك تستعمل الضواغط المكبسية عند الحاجة إلى ضغوط تزيد على (100 ضغط جوي) ومعدل تصريف حجمي لايزيد على 400 m^3/min ، بينما تستعمل الضواغط الدورانية عند ضغوط دفع تقع في مجال (10-6 ضغط جوي) أو قيم أخفض من الضغط الجوي وبتصريف يصل إلى (300 - 400 m^3/min) وتستعمل الضواغط الطاردة المركزية عند معدلات تصريف كبيرة تزيد على (6000..7000 m^3/min) وضغط دفع يقع في المجال (30 - 20 ضغط جوي).

5 - 1 – الضواغط المكبسية : Reciprocating Compressors

5 - 1 - 1 – تصنيف الضواغط المكبسية : Classification

يمكن تقسيم الضواغط المكبسية وفقاً لإنتاجيتها التبريدية إلى ثلاث مجموعات :

١ – الضواغط الصغيرة التي تقل إنتاجيتها عن 9300 w وتقل استطاعتها عن 5 kw.

٢ – الضواغط المتوسطة والتي تتراوح إنتاجيتها في المجال (9300 - 58000 w) واستطاعتها (5 - 20 kw) .

٣ – الضواغط الكبيرة والتي تبلغ إنتاجيتها قيماً أعلى من 58000 w واستطاعتها أكبر من 20 kw

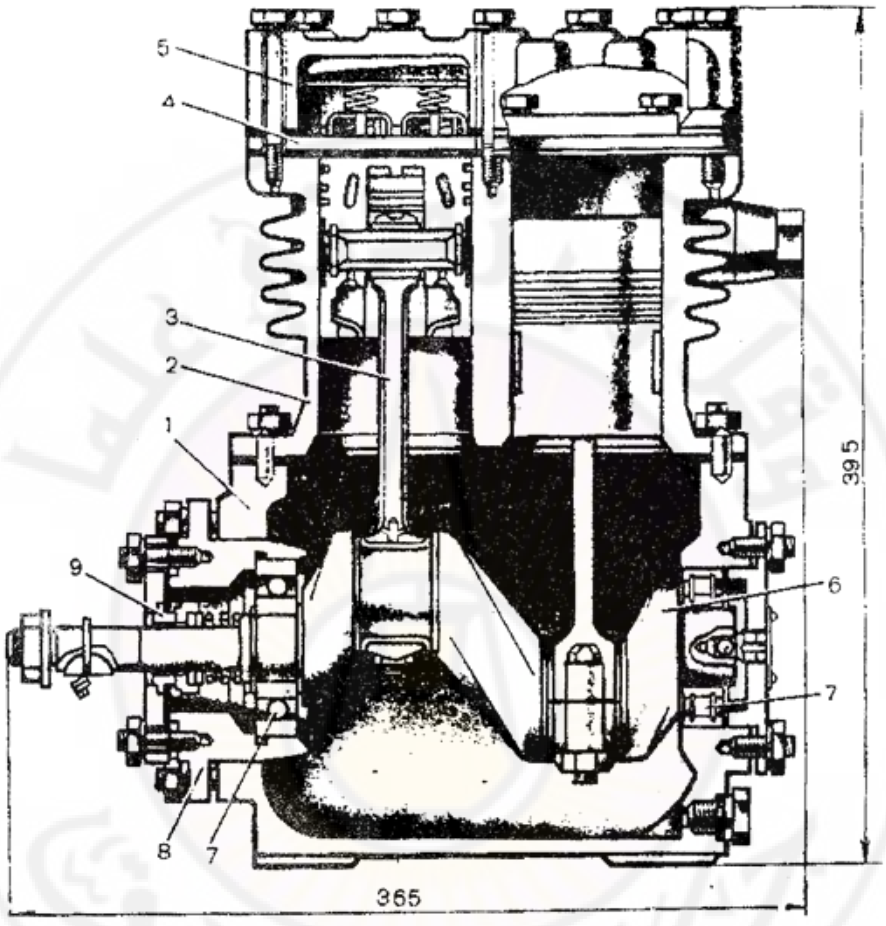
هناك تصنيف آخر للضواغط حسب درجة حرارة الغليان حيث تقسم إلى :

١ – ضواغط ذات مرحلة واحدة وتعمل ضمن مجال درجة حرارة الغليان (-10 / -25 C°) .

٢ – ضواغط متعددة المراحل وتسلسلية وتعمل ضمن المجال (-30 / -110 C°) (t_O = -30 / -110 C°).

تعدّ الضواغط المكبسية من النوع الأكثر انتشاراً في آلات التبريد وتتميز هذه الضواغط بعدة أشكال حسب طريقة توضع أسطواناتها فمنها الضواغط الأفقية والشاقولية وذات توضع بشكل V و W ،انظر الشكلين (5-1.a) و (5-1.b) .

كما يمكن تصنيف الضواغط المكبسية وفقاً لاتجاه حركة تيار البخار فيها فمنها الضواغط المباشر حيث تتم حركة البخار من صمام السحب وحتى صمام الدفع دون أن يغير تيار البخار اتجاهه ، والضواغط غير المباشرة وفيها يحدث عكس لاتجاه حركة البخار بين السحب والدفع .



الشكل (5-1,a) :ضاغط ثنائي الأسطوانات ذو توضع شاقولي طراز ΦB6

١-علبة المرفق، ٢- جسم الأسطوانات، ٣- ذراع توصيل مع مكبس، ٤- مجموعة صمامات، ٥-غطاء الأسطوانات،6- عمود المرفق، 7- رولمانات 8- مسند الرولمان، 9- موانع تسرب



الشكل (5-1,b) :ضاغط ذو توضع أسطوانات بشكل حرف V .

A- عمود المرفق ،B- الاكسنتريك، C- ذراع التوصيل، D- المكبس، E- حلقات المكبس ، F- الأسطوانة، G- صفيحة الصمام، H- مانعة تسرب عمود المرفق، I- جهة صمام السحب، K- علبة المرفق.

ويمكن تصنيف الضواغط الترددية حسب طراز إنشائها إلى ثلاثة أنواع :

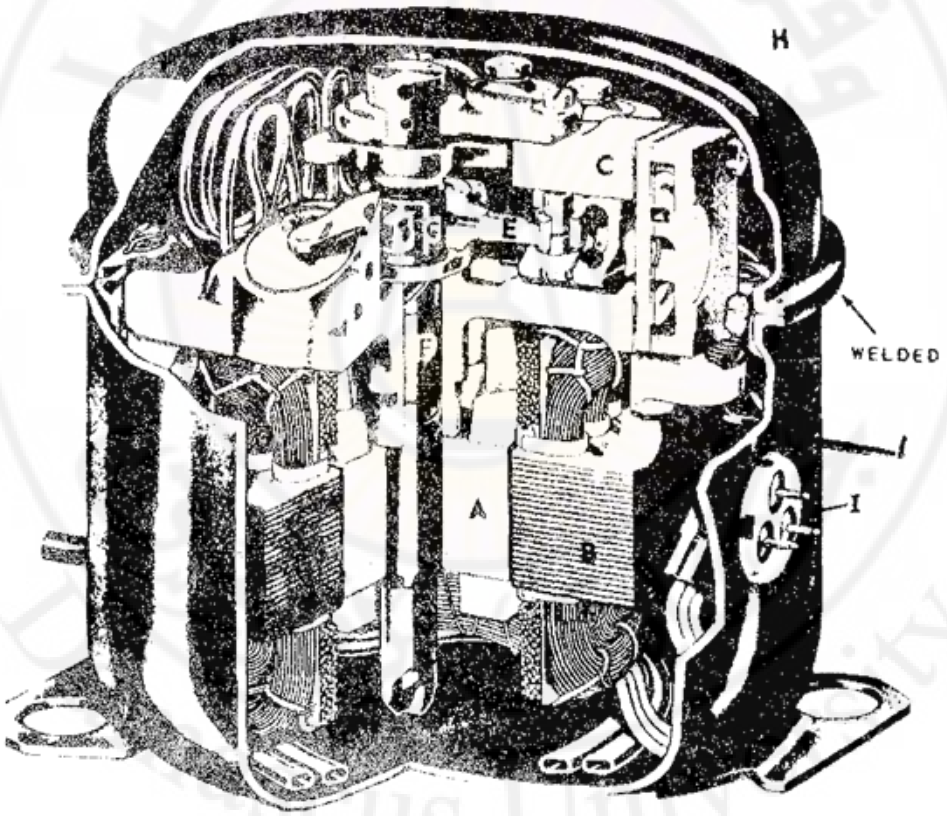
أ. **<u>الضواغط الترددية المغلقة Hermetic Reciprocating Compressors:</u>**

الفرق بين الضواغط الترددية المغلقة والمفتوحة هو أن الأولى تحوي محوراً واحداً للضاغط ومحركه الكهربائي ضمن غلاف من الفولاذ الملحوم. تستخدم الضواغط محكمة الإغلاق أسطوانة واحدة للوحدات الصغيرة وأسطوانتين للوحدات الكبيرة.

تركب الضواغط والمحركات على نوابض أو قواعد مطاطية لامتصاص الاهتزاز ويتم تبريد المحرك بإمرار بخار وسيط التبريد خلال مافات المحرك قبل ضغطه في الضاغط.

يستخدم هذا النوع من الضواغط في البرادات ذات الإنتاجية المنخفضة(البرادات المنزلية وتجهيزات التبريد التجاري من أجل الاستطاعات الصغيرة التي لا تتجاوز ½ KW).

يوضح الشكل (2-5) مقطعاً في ضاغط مغلق مع مكوناته الرئيسة.



الشكل (2-5): ضاغط ترددي مغلق.

A-العضو الدوار، B- العضو الثابت، C- أسطوانة الضاغط، D- مكبس الضاغط، E- ذراع التوصيل، F- عمود المرفق، G- حلق المرفق، H- غلاف الضاغط، I- مأخذ التوصيلات الكهربائية.

ب. **الضواغط نصف المغلقة :Semi Hermetic Compressors :**

في هذا النوع من الضواغط يتصل محور الضاغط بمحور المحرك الكهربائي بوساطة تعشيقة مرنة، ويكون فيها الغلاف مؤلفاً من قطعتين موصولتين بالبراغي بدلاً من اللحام لذا يسمى هذا النوع نصف مغلق ،وتستخدم هذه الضواغط في التبريد التجاري من أجل الاستطاعات حتى ٢طن تبريدي وهي لا تحتاج إلى صيانة أو رقابة وتعمل لمدة طويلة.

ج. **الضواغط المفتوحة Open Compressors :**

هنا يكون كل من الضاغط والمحرك الكهربائي مكشوفين وتنتقل الحركة من المحرك الكهربائي إلى الضاغط بوساطة سير يصل بين بكرتين مركبتين على كل من المحرك الكهربائي والضاغط.

تستخدم هذه الضواغط في التبريد الصناعي عند الاستطاعات الكبيرة التي تصل الى ١٥٠ طناً تبريدياً. وتستخدم أيضاً في أنظمة تكييف الهواء المركزية للراحة، وتحتاج إلى رقابة وإشراف على تشغيلها.

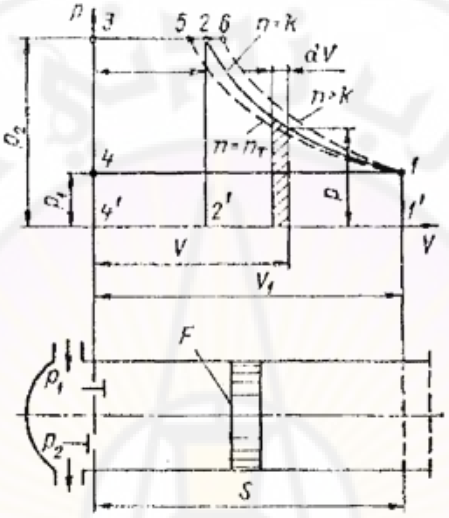
تحتاج الضواغط المفتوحة إلى إحكام جيد للمحاور لمنع تسرب وسيط التبريد والزيت من علبة المرفق إلى الخارج أو تسرب الهواء إلى الداخل، لذا تركب حشوة مانعة للتسرب في مكان خروج محور الضاغط من صندوق المرفق.

وأخيراً يمكن تصنيف الضواغط المكبسية وفق طريقة اتصال ذراع التوصيل مع المكبس حيث نميز الضواغط المباشرة وفيها يتم اتصال المكبس مع عمود المرفق (الكرنك) بوساطة ذراع التوصيل مباشرة ، أما الضواغط غير المباشرة فيتم اتصال المكبس مع عمود المرفق بوساطة ذراع توصيل ووصلة منزلقة ويتميز النوع الأخير بأنه ذو تأثير انضغاطي مزدوج .

2 - 1 - 5 - الدورة النظرية للضواغط المكبسية: Theoretical Cycle

تتم في الضواغط المكبسية ثلاث عمليات هي السحب والضغط وطرد الغاز. إذ يشكل مجموع هذه الإجراءات الثلاثة دورة الضاغط خلال دورة واحدة للمحور.

من الواضح أن دورة الضاغط لا تشكل دورة ترموديناميكية مغلقة شـــكل (3 - 5) لأن عمليتي السحب و الطرد تتمان بتغير كتلة الوسيط ، وإن إجراء الانضغاط فقط يمكـــن أن يوصف بالمعادلات الترموديناميكية للكتلة الثابتة.



الشكل (3 - 5) الدورة النظرية للضواغط الحجمية

عند حركة المكبس من اليسار إلى اليمين يتم سحب الغاز (الإجـــراء 1-4) يكـــون أثناءها صمام السحب مفتوحاً بشكل كامل. عند وصول المكبس إلى أقصى مدى في الطـــرف الأيمن (النقطة 1) تتوقف عملية السحب ويغلق صمام السحب ويبدأ المكـــبس حركتـــه مـــن اليمين إلى اليسار وتتم عملية انضغاط البخار (الإجراء 2 - 1). في النقطة 2 يفـــتح صـــمام الطرد وتتم عملية الطرد (الإجراء 3 - 2) وفي نهاية عملية الطرد يغلق صمام الطرد.

لنفترض أن العمل المصروف (المطبق) على الغاز موجب والعمل الذي يطبق مـــن الغاز على المكبس سالب . إن عمل الضاغط الذي يجب أن يصرف لانضغاط $V(m^3)$ مـــن بخار وسيط التبريد من الضغط P_1 حتى الضغط P_2 يساوي المجمـــوع الجبـــري للأعمـــال المبذولة أثناء إجراءات السحب والضغط والطرد.

$$W = -W_{4-1} + W_{1-2} + W_{2-3} \qquad (5 - 1)$$

من العلاقة (1 - 5) نتوصل إلى نتيجتين مهمتين :

١ – عمل الضاغط في الحالة العامة لايساوي عمل الانضغاط .

٢ – عمل الضاغط عند الشروط المتساوية يحدد بطبيعة الإجراء الترموديناميكي للانضغاط.

العمل في إجراء السحب (4-1) يمكن أن يمثل كجداء القوة P_1F (حيث F مساحة المكبس) بشوط المكبس S . أي أن : $W_{4-1} = P_1.F.S$.

من الشكل (3 - 5) نرى أن الجداء FS يساوي الحجم V_1 ولذلك :

$$W_{4-1} = P_1 . V_1 \qquad (5 - 2)$$

يتحدد العمل المصروف أثناء عملية الانضغاط (الإجراء 2-1) بالعلاقة :

$$W_{1-2} = \int_{V_2}^{V_1} -P.dV = \int_{2}^{1} P.dV \qquad (5 - 3)$$

هنا إشارة السالب موجودة بسبب أن الحجم في الإجراء (2-1) يتناقص.

يتحدد العمل المصروف في عملية الدفع بشكل مشابه لعملية السحب بالعلاقة التالية:

$$W_{2-3} = P_2.V_2 \qquad (5 - 4)$$

مما سبق يمكن تحديد العمل الكلي المصروف بالعلاقة :

$$W = -P_1.V_1 + \int_{2}^{1} P.dV + P_2.V_2 \qquad (5 - 5)$$

يجب التنويه إلى أن عمل كل من الإجراءات الثلاثة المذكورة يكافئ المساحة الواقعة تحت الإجراء في مخطط P-V ، أي أن عمل الضاغط يتناسب مع مجموع المساحتين (2`-3-4-2`) و (1`-2-2`-1`) مطروحاً منها المساحة (1-4`-4-1) وبالنتيجة فإن عمل الضاغط يمثل بالمساحة (4-3-2-1) ولذلك يمكن أن نكتب:

$$W = \int_{1}^{2} V.dp \qquad (5 - 6)$$

إن عمل الانضغاط (5-3) وعمل الضاغط (5-6) هما من أجل G(kg) أو V(m3) من البخار عند ضغط P1 . أما من أجل 1 kg من البخار يصبح لدينا :

$$w = \int_{1}^{2} v.dp \qquad (5 - 7)$$

$$w_{1-2} = \int_{2}^{1} p.dv \qquad (5 - 8)$$

من ناحية أخرى عند طرح الحرارة فإن عمل الضاغط يمكن أن يوجد من قانون الترموديناميك الأول :

$$dq = di - v.dp$$

وبالتالي :

$$w = \int_1^2 v.dp = \int_1^2 di - \int_1^2 dq \qquad (5 - 9)$$

العلاقة (5 - 9) ذات معنى نظري وعملي مهم ، لأنها أولاً تساعد على بإيجاد عمل أي من إجراءات الانضغاط الترموديناميكية ، وثانياً يمكن تطبيق هذه العلاقة على الأوساط المضغوطة سواء أكانت غازات مثالية أم حقيقية.

5 - 1 - 3 - عمل الضاغط عند إجراءات الانضغاط الترموديناميكية المختلفة :

إن تحليل العلاقتين (5 - 5) و (5 - 7) يبين أن العمل النظري للضاغط يحدد بالعوامل التالية:

١ - قيمة الضغطين الأولي P_1 والنهائي P_2

٢ - الخواص الترموديناميكية للوسط المضغوط

٣ - الخواص الترموديناميكية لإجراء الانضغاط

سوف ندرس تأثير طبيعة الإجراء في عمل الضاغط. من أجل تكامل العلاقة (5 - 7) يجب معرفة العلاقة التحليلية بين الضغط والحجم النوعي في إجراء الانضغاط عند كتلة ثابتة لوسيط التبريد . الربط بين هاتين القيمتين في أي إجراء انضغاط ترموديناميكي يعبر عنه بالعلاقة:

$$p.v^n = const \qquad (5 - 10)$$

إذ n : دليل البوليتروب لإجراء الانضغاط .

حسب الطبيعة الترموديناميكية يمكن أن نصنف إجراءات الانضغاط كالتالي:

أ - الإيزوترمي ($T = const$) .

ب - الأديباتي (بدون تبادل حراري مع الوسط المحيط $dq=0$)

جـ - البوليتروبي .

1 - 3 - 1 - 5 – إجراء الانضغاط الإيزوترمي

Isothermal Compression Process:

ويتم هذا الإجراء عند $T_1 = const$. لكي يتم تحقيق الإجراء الإيزوترمي العكوس يتطلب الأمر طرح الحرارة من الوسط المضغوط إلى المصدر الخارجي عند درجة حرارة T_1 . دليل الإيزوترم يحدد بالعلاقة :

$$n_1 = \left(-\frac{v}{P}\right)\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_1$$

عند انضغاط الغاز المثالي ايزوترمياً يكون $p1\ v1 = p2\ v2$ و $n = 1$ ويكون عمل الضاغط يساوي عمل الانضغاط ، أي أن :

$$\int_1^2 v.dp = \int_2^1 p.dv \qquad (5 - 11)$$

بمكاملة العلاقة (5 - 11) وبمساعدة معادلة الحالة للغاز المثالي : $p.v = R.T$ نحصل على :

$$w = w_{12} = R.T_1.\ln(p_2/p_1) = R.T_1.\ln(v_1/v_2) \qquad (5 - 12)$$

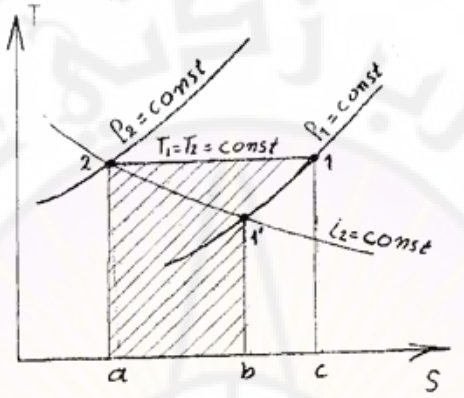
نجد على الشكل (3 - 5) أن الإيزوترم (5-1) ذو ميل أقل ولذلك فإن عمل الضاغط (مبذول) يكون أصغر.

تساعد العلاقة (9 - 5) على تحليل و دراسة عمل الضاغط في المخططات الترموديناميكية للحالة ، مثلاً في إحداثيات T-S الشكل (4 - 5) يجب التنويه إلى أن إجرائي السحب والطرد لايمكن تمثيلهما على مخططات الحالة وذلك لأن الكتلة خلالهما تتغير عند ضغط ودرجة حرارة ثابتتين.

إن فرق الإنتالبي (i2-i1) على الشكل (4 - 5) يكافئ المساحة (1-1`-b-c) والتي تعبر عن كمية الحرارة في الإجراء الإيزوباري (1-1`) . العنصر الثاني من العلاقة (5-9) بالنسبة للانضغاط الإيزوترمي يأخذ الشكل:

$$\int_1^2 T.ds = T_1\ (s_2 - s_1)$$

ويكافئ المساحة (1-2-a-c) وبأخذ إشارة كلا العنصرين في العلاقة (9 - 5) بالحسبان فإن عمل الضاغط يكون مكافئاً للمساحة (1`-1-2-a-b-1`). بالنسبة للغاز المثالي فإن خط ثبات الإنتالبي ينطبق على الإيزوترم وعمل الضاغط عند ذلك يعبر عنه بالمساحة (1-2-a-c) أي أنه يزداد بقيمة المساحة الواقعة تحت الإجراء (1`-1-1`).



الشكل (4 - 5) عمل الضاغط في إجراء الانضغاط الإيزوترمي

2 - 3 - 1 - 5 – إجراء الانضغاط الأديباتي: Adiabatic Comression Process

يتم الانضغاط الأديباتي في الضاغط بدون تبادل حراري مع المصادر الحرارية الخارجية ، أي أن $dq = 0$. الإجراء الأديباتي العكوس هو الإجراء الذي يبقى فيه الأنتروبي ثابتاً وبالتالي لمثل هذا الإجراء يمكن أن نكتب مايلي:

$$dq = T.ds = 0 \quad \text{و} \quad ds = 0$$

يعدّ دليل الإجراء الأديباتي $k = (-v/p)\cdot(\partial p/\partial v)S$ قيمة متغيرة لذلك في الحسابات العملية غالباً تستخدم القيمة الوسطية له في المجال المعطى لتغير بارامترات الحالة للوسط المضغوط. في هذه الحالة فإنه بمكاملة العلاقة (7-5) نحصل على :

$$w = \frac{k}{k-1} p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \qquad (5 - 13)$$

وللغاز المثالي يكون :

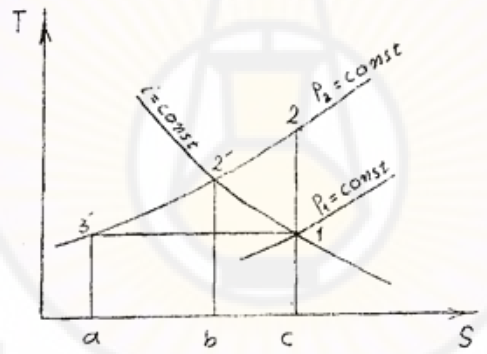
$$w = \frac{k}{k-1} R T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \qquad (5 - 14)$$

يمكن أن نحصل على تعبير آخر عن العمل الأديباتي في الضاغط من العلاقة (5 - 9)

$$w = i_2 - i_2 \qquad (5 - 15)$$

يكافئ هذا العمل المساحة (2-2`-b-c ) على الشكل ( 5 - 5 ) بالنسبة للغاز الحقيقي ويزداد بمقدار المساحة الواقعة تحت الإجراء ( 3`-2`) للغاز المثالي .

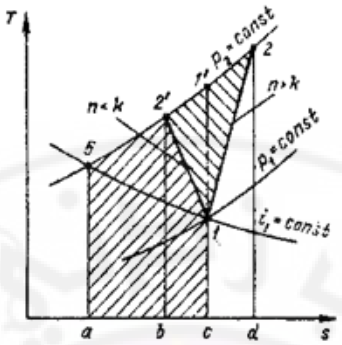
يعطى عمل الضاغط في إجراء الانضغاط البوليتروبي بالعلاقة (13 - 5) بعد تبديل دليل البوليتروب n بدليل الأديبات k.



الشكل (5 - 5) عمل الضاغط خلال الانضغاط الأديباتي

عند طرح الحرارة من الوسط المضغوط إلى المصدر الخارجي يكون $n < k$ وإجراء الانضغاط يميل باتجاه اليسار من الأديبات (الخط 2`-1 ) كما هو موضح في الشكل ( 6 - 5 ) . في هذه الحالة كلا عنصري الجزء اليميني من العلاقة (5-9) يكون موجباً ويعبر عنهما بالتتالي بالمساحتين : ( 2`-5-a-b) و (1-2`-b-c ) ، أما العمل يكافئ المساحة ( 1-2`-5-a-c) .

إجراء الانضغاط مع طرح الحرارة عملياً موجود في الضواغط التي تبرَّد أسطواناتها بالماء .



الشكل (6 - 5) عمل الضاغط خلال إجراء الانضغاط البوليتروبي

عند إعطاء الحرارة من الخارج $n > k$ ينحرف إجراء الانضغاط إلى يمين الأديبات الخط (1-2) الشكل (6 - 5) ، عند ذلك للحصول على عمل الضاغط يجب أن نحسم من المساحة (2-1-c-d) المطابقة لفرق الانتالبي $(i_2 - i_1)$ المساحة (2-5-a-d) المطابقة لكمية الحرارة المعطاة $\int_1^2 T.ds$. وبالنتيجة نحصل على المساحة (2-5-a-c-1) ، وعليه فإن إعطاء الحرارة عملياً غير مجد لأنه بالإضافة إلى مصروف الحرارة فإن عمل الضاغط يزداد أيضاً بالمقارنة مع الإجراء الأديباتي .

من الناحية العملية فإن إجراء الانضغاط يمكن أن ينحرف إلى يمين الأديبات لأسباب أخرى مثل: وجود الاحتكاك الداخلي للوسط المضغوط واحتكاك الوسط بأجزاء الضاغط . من أجل التغلب على هذا الاحتكاك وتذليله تصرف طاقة إضافية وهذه الطاقة تتحول في النهاية إلى حرارة يمتصها الوسط المضغوط . في هذه الحالة يعبر عن عمل الضاغط بالمساحة (2-5-a-d) .

4 - 1 - 5 – إنتاجية و استطاعة الضاغط المكبسي النظري :

Production & Power Of Theoretical Reciprocating Compressors

إن الإنتاجية الحجمية أو الكتلية تعدّ من إحدى المؤشرات الفنية المهمة والأساسية للضاغط . الإنتاجية الحجمية هي حجم البخار المضغوط عند شروط السحب والذي يمر عبر الضاغط في وحدة الزمن ، بالنسبة للضاغط المكبسي النظري فإن هذه القيمة تسمى الحجم

النظري وهو الحجم الذي يخليه مكبس الضاغط في واحدة الزمن من أجل دخول البخار المسحوب (الحجم العامل للأسطوانة).

يحدد الحجم النظري V_T تبعاً للبارامترات الهندسية وسرعة دوران عمود المرفق .

فمن أجل الضاغط المكبسي :

$$V_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S.i.n \qquad (5 - 16)$$

إذ :

D : قطر الأسطوانة (m)

S : مشوار المكبس (m)

i : عدد الأسطوانات

n : عدد دورات عمود المرفق (1/Sec)

الإنتاجية الكتلية (kg/Sec) تحدد بالعلاقة :

$$G_T = V_T / v_1$$

إذ : v_1 : الحجم النوعي للبخار المسحوب (m^3/kg)

باستخدام العلاقة : $P.v = Z.R.T$ نحصل على :

$$G_T = P_1 \frac{V_T}{Z.R.T_1} \qquad (5 - 17)$$

إذ :

Z : معامل الانضغاطية

R : ثابت الغاز (J/kg , k)

P_1 : ضغط السحب (Pa)

T_1 : درجة حرارة السحب ، (k°)

تبين العلاقة (17 - 5)أن الإنتاجية الكتلية للضاغط النظري تتناسب مع ضغط السحب ولاتتعلق بضغط الدفع .

طرائق كنا قد درسنا سابقا تحديد العمل النوعي للضاغط في إجراءات الانضغاط المختلفة. إن الحالة الأكثر شيوعاً هي عمل الضاغط في إجراء الانضغاط البوليتروبي ذي الدليل n . بفرض أن هذا الدليل ثابت شرطياً وبمعرفة عمل الضاغط w والإنتاجية الكتلية G_T يمكن تحديد الاستطاعة النظرية للضاغط .

$$N_T \approx G_T \frac{n}{n-1} P_1 . v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{n-1/n} - 1 \right] \qquad (5 - 18)$$

سندرس فيما يلي طريقة تحديد استطاعة الضواغط الحجمية على المخطط البياني.

نرى على الشكل (5 - 7) المخطط البياني للضاغط الحجمي النظري (1-2-3-4) في إحداثيات شوط المكبس – الضغط .

يبقى هذا المخطط نفسه في حال وضع حجم الأسطوانة V على محور السينات في مقياس مطابق ، أي جداء شوط المكبس S بمساحته F .

بأخذ ذلك بالحسبان فإن مساحة المخطط تكون مكافئة للعمل البياني W_i ، وهذا يعني أن عمل الضاغط خلال دورة واحدة لعمود المرفق :

$$W_i = f_i . m_S . m_p F \qquad (5 - 19)$$

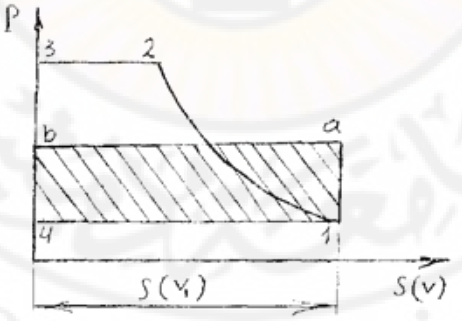
إذ :

f_i : مساحة المخطط البياني mm^2

m_S : المقياس على المحور S ، m / mm

m_p : المقياس على المحور p ، Pa / mm

F : مساحة المكبس ، m^2



الشكل (5 - 7) تحديد الضغط البياني الوسطي في المخطط البياني

لننشئ المستطيل (1-a-b-4) بحيث تكون مساحته مساوية مساحة المخطط البياني (4-3-2-1)، شوط المكبس S يعدّ قاعدة المستطيل، أما ارتفاع المستطيل h يسمى الضغط البياني النظري الوسطي وبكلام آخر فإن الضغط البياني الوسطي هو الضغط الثابت شرطياً في الأسطوانة والذي يمكن للمكبس عنده أن ينجز عملاً يساوي العمل الحاصل في المخطط البياني .

بفرض أن $f_i = S.h$ فإن العلاقة (19 - 5) تأخذ الشكل :

$$Wi = S.\, m_S.h.m_p\, F$$

يعبر الجداء S.ms.F عن حجم الأسطوانة V1 ، أما الجداء h.mp. يعبر عن الضغط البياني الوسطي PiT .

بهذا الشكل فإن :

$$W_i = V_1 . P_{iT} \qquad (5 - 20)$$

من المعادلة (20 - 5) نجد أن الضغط الوسطي البياني يعبر عن العمل اللازم لانضغاط (1m3) من البخار ، وبالتالي يمكن أن نكتب :

$$P_{iT} = w/v_1 \qquad (5 - 21)$$

بضرب طرفي المعادلة (20 - 5) بعدد دورات عمود المرفق n ، ومع أخذ العلاقة (16 - 5) بالحسبان نحصل على الاستطاعة البيانية للضاغط النظري :

$$N_T = P_{iT} V_T \qquad (5 - 22)$$

نجد من المعادلة (22 - 5) أن القيمة العددية للضغط البياني تساوي الاستطاعة لواحدة الحجم النظري ، أي لكل 1 m3/Sec .

لندرس الآن كيف يتغير العمل البياني واستطاعة الضاغط بتغير ضغط السحب عند ضغط دفع ثابت P_2 الشكل (8 - 5) .

من الشكل نرى أنه عند ضغوط سحب قريبة أو بعيدة من الضغط P2 فإن العمل البياني يكون قليلاً نسبياً ويعبر عنه بالمساحتين المهشرتين أفقياً وعمودياً بالتتالي. عند ضغط محدد P1 يكون للعمل قيمة أعظمية تطابق مساحة المخطط (4-3-2-1).

لنحدد نسبة الضغط $\Pi = P2 / P1$ الموافقة للعمل الأعظمي في حالة الانضغاط الأديباتي ذي الدليل k . بتقسيم طرفي المعادلة (13 - 5) على v_1 ومع أخذ المعادلة (5-21) بالحسبان نحصل على :

$$P_{ia} = \frac{k}{k-1} P_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

باشتقاق هذه المعادلة بالنسبة للضغط P_1 ومساواة المشتق dp_{ia} / dp_1 بالصفر نحصل على قيمة Π الموافقة للقيمة الأعظمية لـ P_{ia} :

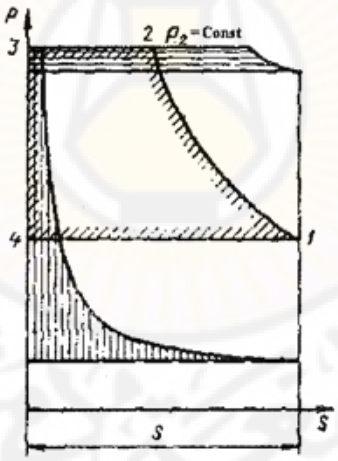
$$\frac{P_2}{P_1} = \Pi = K^{k/(k-1)} \qquad (5 - 23)$$

إن وسائط التبريد : الأمونيا ، الفريونات R_{12} و R_{22} لها دليل أديبات بالتتالي :

1.3 ، 1.14 ، 1.2 . ونسبة الضغط حسب العلاقة (23- 5) تأخذ القيم التالية:

3.117 ، 2.906 ، 2.986 .

من هنا نجد أن استطاعة الضاغط تكون أعظمية عندما تكون نسبة الضغط تساوي (3) تقريباً



الشكل (8 - 5) علاقة العمل البياني بضغط السحب

5 - 1 - 5 – الضاغط المكبسي الفعلي: Real Reciprocating Compressoes

في الضواغط الفعلية تؤثر عدة من العوامل تؤدي في النتيجة إلى انخفاض إنتاجية واقتصادية الضاغط الفعلي بالمقارنة مع الضاغط النظري .

من أهم هذه العوامل التالية :

١ – وجود الفراغ الميت :

في الضاغط الفعلي يكون حجم الأسطوانة أكبر من الحجم الذي يتحرك فيه المكبس ويشغله خلال شوط واحد بمقدار قيمة مايسمى الحجم الميت ، أي قيمة الحجم إذ لايمكن طرد البخار عند وصول المكبس إلى النقطة الميتة في نهاية شوط الطرد.

يتم التمييز بين الفراغ الميت الخطي والفراغ الميت الحجمي .

الفراغ الميت الخطي : هو المسافة (mm) بين رأس المكبس في النقطة الميتة العليا (للضواغط العمودية البسيطة) وسقف الأسطوانة . هذا الفراغ مصمم خصيصاً لتعويض التمدد الحراري لأجزاء الضاغط أثناء عمله .

الفراغ الميت الحجمي : و يتألف من الحجوم التالية :

أ- جزء من حجم الأسطوانة بارتفاع يساوي الفراغ الميت الخطي .

ب- الحجم الحلقي بين جدران المكبس والأسطوانة على ارتفاع يساوي المسافة من رأس المكبس إلى أول حلقة إحكام .

جـ- حجم الأقنية التي تصل الأسطوانات بالصمامات .

عند الحركة العكسية للمكبس يبدأ إجراء السحب فقط بعد أن يتمدد الغاز المضغوط المتبقي في الفراغ الميت وينخفض ضغطه حتى ضغط السحب. هذا الإجراء يتم خلال جزء من شوط المكبس ويسمى التمدد العكسي. وبهذا الشكل فإن وجود الفراغ الميت يقلل من إنتاجية الضاغط الفعلي.

٢ – الضياعات الهيدروليكية :

هناك ضياع للضغط في قنوات السحب والطرد وبسبب وجود الصمامات أيضاً ، وهذا كله يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية الحجمية للضاغط الفعلي.

٣ – تسخين البخار :

إن درجة حرارة البخار ترتفع في الجزء بين فتحة السحب وأسطوانة الضاغط وبالتالي تنخفض الإنتاجية الكتلية للضاغط الفعلي .

٤ – التبادل الحراري في الأسطوانة :

خلال إجراءي الانضغاط والتمدد العكسي يحدث تبادل حراري بين البخار وجدران الأسطوانة والمكبس ويكون هذا التبادل ذا اتجاهات وشدات مختلفة .

بنتيجة ذلك فإن دليل البوليتروب في هذه الإجراءات يكون ذا قيمة متغيرة وفعالية عمل الضاغط تنخفض .

٥ – تذبذب الضغط في قناتي الأسطوانة :

بما أن حدوث عمليتي السحب والدفع في كل أسطوانة يتم بشكل دوري لذلك تكون سرعة الغاز في كل من قناتي السحب والدفع متغيرة ويؤدي تذبذب كل من السرعة والتصريف إلى تذبذب الضغط في قناتي الأسطوانة وهذا ينعكس على شكل تيار الغاز في الأقنية فبدلاً من أن يكون تياراً مستمراً للغاز يصبح تدفق الغاز على شكل نبضات ، ويتجلى هذا الأثر بشكل كبير في الضواغط المتعددة المراحل حيث لايدخل الغاز القادم من مرحلة الضغط الأولى إلى مرحلة الضغط الثانية في الوقت نفسه بسبب وجود فراغ فاصل بين المرحلتين .

إن تذبذب الضغط يزيد من الاستطاعة اللازمة لتدوير الضاغط ، ولكن في بعض الحالات يزيد من الإنتاجية الفعلية بالمقارنة مع النظرية .

٦ – التسرب :

يمكن أثناء عمل الضاغط أن يحدث تسرب عبر الخلوصات المختلفة لأجزاء الضاغط مثل: حلقات الإحكام ، الخلوص بين المكبس والحلقات وجدران الأسطوانة ، عبر الصمامات غير المحكمة وغير ذلك .

٧ – الاحتكاك :

جزء من الطاقة اللازمة لتدوير الضاغط الفعلي يصرف للتغلب على الاحتكاك في أزواج الضاغط .

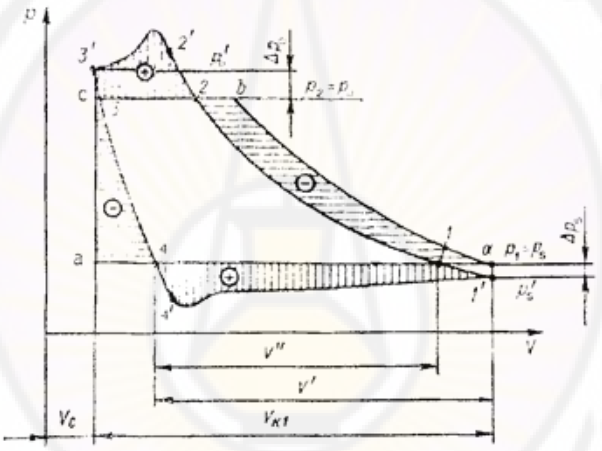
إن تأثير جزء كبير من العوامل السابقة ينعكس على المخطط البياني الفعلي والذي يساعد على إجراء التحليل الكيفي والكمي للإجراءات الفعلية للضاغط .

الإجراءات الفعلية تختلف بشكل ملموس عن الإجراءات النظرية . وهذا واضح بمقارنة المخطط البياني النظري (a-b-c-d) والفعلي (`4-`3-`2-`1) للضواغط الشكل(9-5)

إجراء السحب (`1-`4) يتم عند ضغط متغير وأكثر انخفاضاً من الضغط في فتحة السحب $P_S = P_1$. توافق النقطتان `1 و `4 بداية فتح صمام السحب وإغلاقه تماماً بالتتالي . فرق الضغط بين فتحة السحب والأسطوانة خلال الإجراء (`1-`4) ناتج عن مقاومة حركة البخار على الطريق بينهما ، وإن تغير قيمة هذا الفرق مقرونة بحالتين : الأولى تغير نسبة

فتح صمام السحب ، والثانية تغير سرعة البخار فيه من جراء تغير سرعة المكبس . إن الفرق بين الضغط في الفتحة P_S وفي بداية عملية الانضغاط. P_s يسمى هبوط الضغط على السحب .

نشاهد صورة مشابهة في إجراء الطرد (3`-2`) . هنا النقطة 2` توافق لحظة فتح صمام الدفع. وبسبب كون الفتحة صغيرة عند بداية فتح الصمام فإن الضغط يستمر بالارتفاع حتى بعد بداية فتح الصمام ، وبعد الوصول إلى القيمة الأعظمية ينخفض الضغط قبل الصمام ولكنه في نهاية الدفع (الطرد) يبقى أيضاً أعلى من الضغط في فتحة الدفع . يسمى الفرق بين $P_D$ في النقطة 3` والضغط $P_D = P_2$ هبوط الضغط على خط الدفع .



الشكل (9 - 5) المخطط البياني الفعلي

يعكس المخطط البياني الفعلي أيضاً الحالة الفنية لأجزاء الضاغط . مثلاً الصمامات التي تعمل بشكل طبيعي يجب أن تغلق وتفتح في النقاط الميتة لأنه عندما يصبح النابض رخواً فإن الصمام يغلق متأخراً باتجاه حركة المكبس وهذا يؤدي إلى حصول انزياح في خطي السحب والضغط ، أما إذا كان النابض شديداً فإن الصمام يغلق بشكل مبكر مما يؤدي إلى بدء عملية الانضغاط عند ضغط منخفض وحصول عملية تمدد الغاز الموجود في الفراغ الميت عند ضغط مرتفع . هذان الانحرافان يؤديان إلى الإساءة لعمل الضاغط .

6 - 1 - 5 – إنتاجية الضاغط الفعلي: Productivity

يعبر عن الضياعات الحجمية في الضواغط المكبسية بما يسمى معامل التغذية أو معامل الملء λ (Supply Coefficient) وبالتالي فإن :

$$V_r = \lambda V_T \qquad (5-24)$$

إذ : V_r : الإنتاجية الحجمية الفعلية للضاغط (m^3 / Sec)

V_T : الإنتاجية الحجمية النظرية للضاغط (m^3 / Sec) .

بتقسيم طرفي المساواة (24 - 5) على الحجم النوعي v1 للبخار عند الضغط ودرجة الحرارة في فتحة السحب ، نحصل على الإنتاجية الكتلية الفعلية :

$$G_r = \lambda G_T \qquad (5-25)$$

من العلاقة (25 - 5) نجد أن معامل الملء هو كمية الغاز الحقيقية الداخلة إلى الضاغط عند شروط السحب السائدة G_r إلى كمية الغاز النظرية G_T أي:

$$\lambda = G_r / G_T$$

يتألف معامل التغذية من حاصل ضرب عدة معاملات وفق المعادلة التالية :

$$\lambda = \lambda_c . \lambda_D . \lambda_w . \lambda_t \qquad (5-26)$$

إذ :

λ_c : المعامل الحجمي . (Volumetric Coefficient)

λ_D : معامل الخنق أو معامل الضغط . (Pressure Coefficient)

λ_w : المعامل الحراري أو معامل التسخين . (Heat Coefficient)

λ_t : معامل الإحكام الناتج عن تسرب الغاز من أساور إحكام المكبس والصمامات و غيرها . (Tightness Coefficient)

يمكن تحديد المعاملين λ_c و λ_D بوساطة المخطط البياني لذلك فإن جداءهما $\lambda_I = \lambda_c \lambda_D$ يسمى المعامل البياني .

معاملا التسخين λ_w والإحكام λ_t لايمكن تحديدهما بالمخطط البياني لذلك يسمونهما أحياناً معاملات الضياعات الخفية.

المعامل الحجمي يحدد بالعلاقة (انظر الشكل 9 - 5) :

$$\lambda_c = V` / V_{k1} \qquad (5-27)$$

الحجم $V`$ يمكن أن يعبر عنه بالشكل : $V` = V_{k1} + V_c - V_4$

يمكن أن يعبر عن الحجم الميت من خلال قيمته النسبية C :

$$V_c = C.V_{kl}$$

الفراغ النسبي الميت لمعظم الضواغط الحديثة يشكل (3 .. 5%) ، أما في الضواغط ذات التصميم الخاص ، مثلاً ذات درجات الحرارة المنخفضة يمكن أن ينخفض حتى(1.5 .. 2%).

الحجم V_4 يحدد من معادلة التمدد البوليتروبي العكسي (4-`3) وعلى فرض أن:

$V_{3`} = V_c = C.V_{kl}$ فإن :

$$\left(\frac{P'_D}{P_1}\right)^{1/n} V_4 = C.V_{kl}$$

بوضع قيم V_c و V_4 في العلاقة (27 - 5) نحصل على :

$$\lambda_c = \frac{V_{kl} + C.V_{kl} - C.V_{kl}\left(P_D^{\otimes}/P_1\right)^n}{V_{kl}}$$

و على فرض أن $P'_D = P_2 + \Delta P_D$ نجد :

$$\lambda_C = 1 - C\left[\left(\frac{P_2 + \Delta P_D}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] \qquad (5 - 28)$$

حسب المعطيات التجريبية فإن للأمونيا ($n = 0.95 \div 1.1$) ،و للفريونات ($n - 0.95 \div 1.05$) .

هذه الأرقام تبين أنه للحسابات العملية يمكن بافتراض أن $n = 1$ و بالتالي فإن المعامل λ_C يحدد بالصيغة :

$$\lambda_C = 1 - C\left[\left(\frac{P_2 + \Delta P_D}{P_1}\right) - 1\right] \qquad (5 - 29)$$

من العلاقة (29 - 5) نجد أن المعامل λ_C يتعلق بالقيم النسبية للفراغ الميت و بنسبة الضغط P'_D/P_1 و بدليل البوليتروب n .

إن وجود الخنق أثناء السحب يؤدي إلى كون البخار P'_s قبل انضغاطه في الأسطوانة أقل من الضغط في فتحة السحب P_S .

يتساوى هذان الضغطان في النقطة 1 وذلك بعد أن يقطع المكبس جزءاً من شوط الانضغاط. حجم الأسطوانة في الجزء الضائع لشوط الانضغاط يشكل ضياعاً في الإنتاجية بسبب هبوط الضغط على خط السحب .

إن معامل الخنق يتحدد بالعلاقة :

$$\lambda_D = \frac{V''}{V'}$$

إذا افترضنا أن $\Delta V = V`-V``$ ، يمكن أن نكتب :

$$\lambda_D = \frac{\left(V' - \Delta V\right)}{V'} = 1 - \frac{\Delta V}{V'} \qquad (5 - 30)$$

إضافة إلى ذلك فإنه يمكن التعبير عن ΔV بالفرق :

$$\Delta V = V_O - V_1$$

إذ :

V_O = الحجم الكلي للأسطوانة .

V_1 = حجم الأسطوانة عندما يكون المكبس في النقطة (1)

يمكن بخطأ بسيط افتراض أنه على الجزء (1` - 1) يتم انضغاط ايزوترمي لغاز مثالي . عند ذلك يكون :

$$P`_S.V_O = P_1.V_1 \qquad \text{وبالتالي} \qquad V_1 = V_O .P`_S / P_1$$

بوضع قيمة V_1 في علاقة ΔV نحصل على :

$$\Delta V = V_o - V_o \frac{P_S'}{P_1} = V_{k1}\left(1+C\right)\left(1 - \frac{P_S'}{P_1}\right)$$

بوضع ΔV في العلاقة (30 - 5) نحصل على النتيجة التالية :

$$\lambda_D = 1 - \frac{1+c}{\lambda_c}\left(1 - \frac{p_s'}{p_1}\right) \qquad (5 - 31)$$

في الضواغط المكبسية الحديثة يأخذ معامل الخنق قيمة مرتفعة (1 .. 0.95).

لتحقيق $\lambda_D \approx 1$ من الضروري اختيار سرعة البخار عبر الصمام بشكل صحيح وكذلك الاختيار الصحيح للعنصر المرن للصمام .

سرعة الصمام تختار بحيث يتحقق الشرط التالي :

$$C_V / a = 0.25$$

إذ :

C_V : سرعة البخار عبر الصمام .

a : سرعة الصوت في البخار عند شروط السحب .

بحسب العنصر المرن لصمام السحب بناء على شرط الفتح عند فرق ضغط لايزيد على 4 kPa. يبدي نبض الضغط في خط السحب تأثيراً كبيراً في معامل الخنق.

المعامل البياني للتغذية :

$$\lambda_i = \lambda_c.\lambda_d = V`.V`` / V_{k1}.V` = V`` / V_{k1}$$

وبأخذ العلاقتين (5 - 29) و (5 - 31) بالحسبان فإن المعامل البياني يصبح :

$$\lambda_i = \frac{P_1 - P_s}{P_1} - c\left(\frac{P_2 + P_D}{P_1} - \frac{P_1 - \Delta P_s}{P_1}\right) \qquad (5 - 32)$$

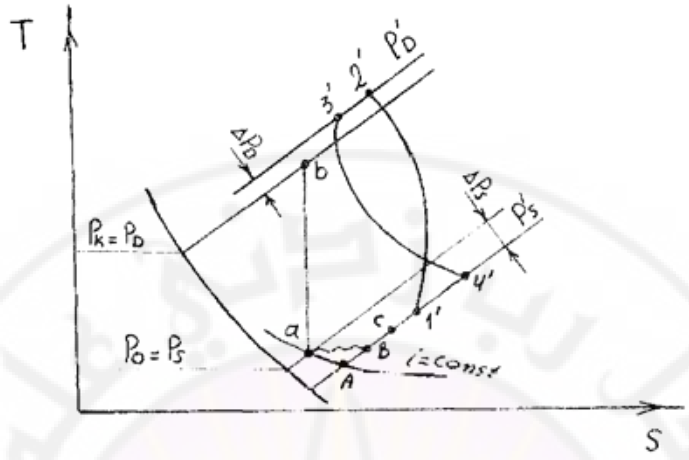
أما معامل التسخين λ_W فيأخذ بالحسبان انخفاض إنتاجية الضاغط نتيجة تسخين غاز السحب من قبل جدران الأسطوانة وغيرها .

أي أن كتلة هذا الغاز تصبح أقل بسبب انخفاض الكثافة عند ارتفاع درجة الحرارة.

يمكن دراسة تغير الحالة الترموديناميكية للبخار خلال الإجراءات الفعلية في مخطط T-S الشكل (10- 5). للتبسيط يمكن افتراض الضغط في النقطتين `1 و `4 متساو وكذلك الأمر بالنسبة للضغط في النقطتين `2 و `3 انظر الشكل (9 - 5) وإن ضغطي الغليان P_O والتكاثف P_k يساويان بالتتالي الضغطين P_S و P_D .

إن حالة البخار في فتحة السحب توصف بالنقطة a، والإجراء (a-b) هو انضغاط إيزونتروبي في الضاغط النظري . إن تغير حالة البخار من فتحة السحب حتى الدخول إلى الأسطوانة يمكن أن يعبر عنه من خلال إجراءين : إجراء الخنق (a-A) وإجراء تسخين إيزوباري (A-B) .

ارتفاع درجة حرارة البخار حتى T_c يتم على حساب التيار الحراري من جدران الأسطوانة التي تملك درجة حرارة أكبر من T_B . بالنهاية فإن درجة حرارة البخار القادم إلى الأسطوانة يرتفع حتى T_i وذلك على حساب إختلاطه مع البخار المتمدد من الفراغ الميت . من المفهوم أن الإجراءين (B-C) و (C-`1) يتمان في وقت واحد ولكن تمت تجزئتهما شرطياً .



الشكل (10 - 5) تغير حالة البخار في إجراء عمل الضاغط الفعلي

إن انخفاض الإنتاجية يستدعي تسخين البخار بوساطة جدران الأسطوانة من T_A و حتى T_C . أما تسخين البخار نتيجة المزج لا يؤثر في الإنتاجية لأن الخلط الايزباري لكميات الغاز ذات درجات الحرارة المختلفة لا يؤدي إلىتغير في الحجم الإجمالي .

يتم إجراء الانضغاط الذي يبدأمن النقطة `1 في البداية مع إعطاء (كسب) حرارة و بعد ذلك يتم مع طرح حرارة و هذا يتحدد بعلاقة تغير درجات حرارة البخار المضغوط و سطوح الأجزاء التي يتلامس معها .

ينتهي الانضغاط عند الضغط النهائي $P_D^{'}$ (النقطة `2 ) . الجزء ( `3-`2) يصف الانخفاض الممكن لدرجة حرارة البخار خلال عملية الدفع .

في بداية إجراء التمدد العكسي (`4-`3) فإن البخار يعطي الحرارة إلى جدران الأسطوانة ذات درجة الحرارة المنخفضة . وفي هذا الجزء يكون دليل البوليتروب أكبر من دليل الأديبات. أما الجزء المتبقي و الأكبر من التمدد العكسي يتم عند تسخين شديد للبخار و لذلك فإن دليل البوليتروب يكون ذا قيمة منخفضة .

تحدد القيمة العددية للمعامل λ_W بنسبة حجمي البخار في الحالتين A و C انظر الشكل (10 - 5) .

$$\lambda_W = \frac{v_A}{v_C}$$

باستخدام معادلة الحالة للغازات المثالية يمكن أن نكتب :

$$v_C = R\,T_C\,P_s' \qquad و \qquad v_A = P_s'\,R\,T_A$$

و بالتالي :

$$\lambda_w = T_A / T_C$$

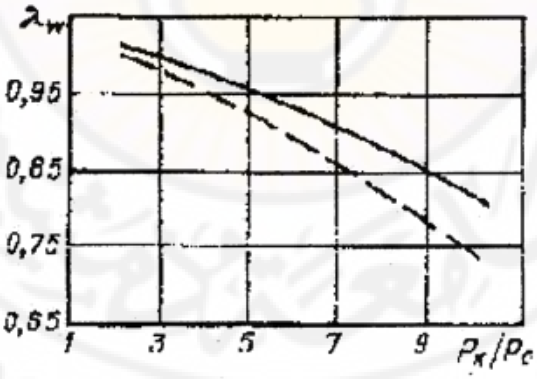
نرى على الشكل (11 - 5) علاقة λ_W بنسبة الضغوط الخارجية P_k / P_o للضواغط ذات القيادة الخارجية П80 (الخط المتصل) وللضواغط ذات القيادة المباشرة من محرك كهربائي Pδ80 (الخط المنقط) وذلك عند عملها على الفريون R22. إن تدني قيمة λ_W للضاغط Pδ80 ينتج عن التسخين الإضافي على حساب الحرارة المتولد من المحرك الكهربائي بالكمية :

$$Q_E = N_E\,(\,1 - \eta_E\,)$$

إذ : N_E : استطاعة المحرك الكهربائي .

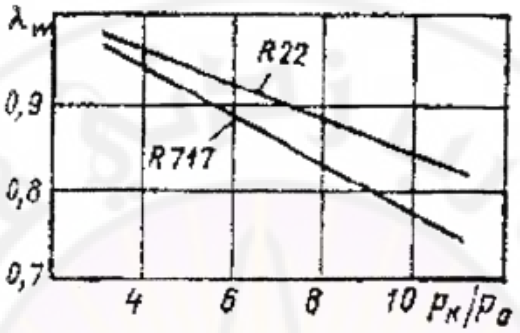
η_E : مردود المحرك الكهربائي

يعطي الشكل (12- 5) قيم λ_W للضواغط ذات القيادة الخارجية П110 و П220عند العمل على الأمونيا R_{717} و الفريون R_{22} .



الشكل (11 - 5) معامل التسخين للضواغط П80 و Пδ80

كما هو واضح من الشكل أنه عند عمل الضواغط على الأمونيا R717 تكون قيمة λ_W أقل. إن السبب في ذلك هو إعطاء الحرارة لبخار الأمونيا بشدة أكبر نتيجة ارتفاع دليل الأديبات k وارتفاع درجة حرارة الدفع بالمقارنة مع الفريونات .



الشكل (12 - 5) معامل التسخين للضواغط П110 و П220

في الوقت الحاضر لاتوجد علاقة حسابية عالية الدقة تسمح بتحديد λ_W للضواغط المكبسية ذات التصاميم المتعددة .

يمكن بشكل تقريبي استخدام صيغة لضواغط الأمونيا العمودية تأخذ بالحسبان الضياعات الناتجة عن التسخين وعدم الإحكام .

$$\lambda_W = T_O / T_K \qquad (5 - 33)$$

إذ : T_K ، T_O : درجتي حرارة الغليان والتكاثف k .

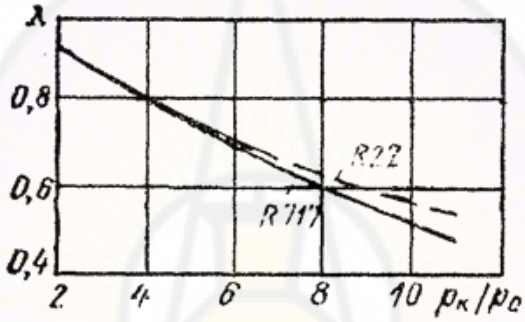
بشكل عام يعبر عن التسرب الناتج عن عدم الإحكام بوساطة معامل الإحكام λ_T الذي يعبر عن مدى انخفاض إنتاجية الضاغط بسبب التسرب الحاصل عبر فراغات أساور المكبس أثناء عملية الانضغاط إضافة إلى التسرب الحاصل نتيجة عدم إحكام صمام السحب وتأخر إغلاقه إذ تعود الغازات المتسربة إلى الأسطوانة أثناء عملية السحب اللاحقة إضافة إلى جزء من الغاز يعود إلى الأسطوانة نتيجة حدوث تسرب عبر صمام الدفع بسبب تأخر إغلاقه .

تجدر الإشارة إلى أنه يتسرب أحياناً جزء من الغاز من قناة الدفع إلى الأسطوانة أثناء عملية الانضغاط عندما يكون الضغط في الأسطوانة أخفض من ضغط الدفع ، هذا التسرب لايؤثر في إنتاجية الضاغط الحجمية بل يزيد من قيمة العمل المصروف في الضاغط

بالنسبة للضواغط الحديثة ذات سرعة الدوران العالية تتراوح قيمة λ_T في الحدود (0.95 .. 0.99) عند تغير نسبة الضغط في المجال (10 .. 2) .

بعد تحديد المعاملات التي تأخذ بالحسبان الضياعات الحجمية المستقلة بالطريقة الحسابية أو التجريبية يمكن تحديد معامل التغذية للضاغط بالعلاقة (26 - 5) .

الشكل (13 - 5) يبين علاقة معامل التغذية بنسبة الضغط للضواغط П110 و П220 عند العمل على R_{22} و R_{717} ، أما على الشكل (14 - 5) فنرى هذه العلاقة بالنسبة للضواغط ذات درجة الحرارة المنخفضة ФУС12 عند العمل على R_{22} و R_{502}



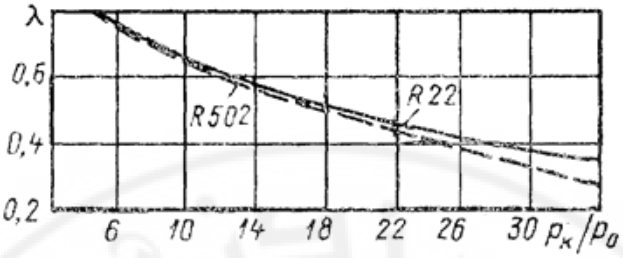
الشكل (13 - 5) معامل التغذية للضواغط П110 و П220

إضافة إلى الإنتاجية الحجمية (24-5) والإنتاجية الكتلية (25-5) يساعد معامل التغذية على تحديد إنتاجية الضاغط التبريدية إذا كان معروف لدينا الحجم العامل والبارامترات الترموديناميكية لدورة آلة التبريد .

$$Q_o = \lambda . V_T . q_o / v_1 \qquad (5 - 34)$$

حيث : q_o : الإنتاجية التبريدية النوعية لوسيط التبريد KJ / Kg

v_1 : الحجم النوعي للبخار في فتحة سحب الضاغط m^3 / Kg



الشكل (14 - 5) معامل التغذية للضاغط ذي درجة الحرارة المنخفضة ΦYC12

تعدّ الإنتاجية التبريدية للضاغط قيمة شرطية ويفهم منها الإنتاجية التبريدية لآلة التبريد والتي تكون عندها إنتاجية الضاغط الكتلية من وسيط التبريد :

$$G_{ad} = \lambda . V_r / v_1$$

نرى من العلاقة (34 - 5) أن الإنتاجية التبريدية للضاغط تتعلق ليس فقط بمقاييسه وحالته الفنية بل أيضاً بالشروط الترموديناميكية لعمل آلة التبريد ونوع وسيط التبريد.

7 - 1 - 5 – استطاعة الضاغط الفعلي : Power

إن الاستطاعة البيانية N_i (Indication Power) توافق عمل الضاغط ذي الإجراءات الفعلية، الانضغاط، الدفع ، التمدد العكسي و السحب .

هذه الاستطاعة تحدد وفقاً للمخطط البياني الفعلي .

$$N_i = P_i . V_T \qquad (5 - 35)$$

إذ P_i : الضغط البياني الوسطي .

لتقييم الأداء الطاقي للإجراءات الفعلية للضاغط كافةً يدخل مفهوم الاستطاعة الإيزونتربية :

$$N_{ad} = G_{ad} . \Delta i_a = \lambda . V_r . (\Delta i_a / v_1) \qquad (5 - 36)$$

إن المقدار Δi_a في العلاقة (36 - 5) هو الفرق بين الأنتالبي النهائي والأنتالبي الأولي لإجراء الانضغاط الأديباتي (إيزونتروبي) – الخط (a-b) انظر الشكلين (9 - 5) و (10 - 5). توافق النقطة a هنا حالة البخار في فتحة السحب ، أما النقطة b ناتجة عن تقاطع الخط S_a=const و الخط $P_K = P_D$= const انظر الشكل (10 - 5) .

تنقل إلى محور الضاغط استطاعة فعالة N_b أكبر من N_i بمقدار قيمة الاستطاعة المصروفة للتغلب على الاحتكاك و الاستطاعة اللازمة لقيادة الميكانيزمات الإضافية الموصولة مع عمود المرفق مثل مضخة الزيت ، مروحة التبريد و غيرها . وبالتالي:

$$N_e = N_i + N_f \qquad (5 - 37)$$

تتعلق استطاعة الاحتكاك $N`f$ بعدة عوامل بما في ذلك تصميم الضاغط ، لزوجة وبالتالي درجة حرارة الزيت في الكارتر ، سرعة دوران المحور ، نسبة ضغطي السحب والدفع.

توافق كل نوع من الزيت درجة حرارة محددة تكون استطاعة الاحتكاك عندها أصغرية. بالنسبة للزيوت ذات اللزوجة 6-10.(30 .. 6) m2/Sec فإن درجة الحرارة هذه تقع في الحدود (70 .. 100 oC) . إن ارتفاع درجة الحرارة بعد ذلك يمكن أن يؤدي إلى انخفاض مفاجئ للزوجة والإساءة إلى شروط التزييت .

تحدد غالباً في الحياة العملية استطاعة الاحتكاك كجداء :

$$N`f = P_f . V_l$$

إذ P_f : معامل تجريبي ويسمى ضغط الاحتكاك .

حسب النتائج التجريبية للضواغط المتوسطة الإنتاجية فإن القيمة الوسطية لضغط الاحتكاك تشكل (0.89 bar) ، وعند رفع نسبة الضغط PD / Ps من 2 إلى 8 فإن قيمة Pf تنخفض من (0.89 bar) إلى (0.78 bar) .

بازدياد سرعة دوران المحور فإن استطاعة الاحتكاك في الأجزاء المختلفة للضاغط لاتتغير بشكل متساوٍ ، ولكن بشكل عام تزداد حسب علاقة أسية ذات دليل أسي (2 .. 1.5) .هذا يبين أنه بازدياد سرعة الدوران يزداد ضغط الاحتكاك.

تتألف استطاعة الاحتكاك $N`f$ في الضواغط المكبسية من استطاعة الاحتكاك لمساند عمود المرفق في المضاجع الرئيسة N1 ، استطاعة الاحتكاك لأذرع التوصيل مع عمود المرفق N2 ، استطاعة الاحتكاك في مضجع اصبع المكبس أو الوصلة المنزلقة N3 ، استطاعة الاحتكاك في الوصلة المنزلقة N4 ، استطاعة احتكاك المكبس مع جدار الأسطوانة N5 ، استطاعة احتكاك حلقات إحكام المكبس مع جدار الأسطوانة N6 واستطاعة الاحتكاك في موانع التسرب N7 :

$$N`f = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7$$

يتعلق توزع استطاعة الاحتكاك بين العناصر المذكورة أعلاه بعدة عوامل . وبشكل عام يعدّون هذا التوزع ضمن الحدود التالية :

$N_4 = 6 .. 8\%$, $N_7 = 2 .. 10\%$, $N_6 = 40 .. 55\%$

$N_1 = 13 .. 16\%$, $N_2 = 15 .. 20\%$, $N_3 = 4 .. 5\%$

تنسب عادة الاستطاعة اللازمة لقيادة الميكانيزمات الإضافية إلى استطاعة الاحتكاك وبالتالي يكون :

$$N_f = N`_f + N_{oc}$$

إذ : N_{oc} : الاستطاعة اللازمة لقيادة الميكانيزمات الإضافية .

لقيادة الضاغط يلزم محرك ذو استطاعة على محوره :

$$N_{Eng} = N_e + \Delta N$$

إذ : ΔN: الاستطاعة الضائعة في نقاط الوصل لنقل الطاقة من المحرك إلى الضاغط ويعبر عنها بمردود النقل $\eta`$.

إن تقييم الأداء الطاقي لعمل الضاغط يمكن أن يتم بمساعدة معاملات المردود الطاقية : البياني ، الميكانيكي و الفعال .

$$\eta_i = N_{ad} / N_i \qquad (5 - 38)$$

$$\eta_M = N_i / N_e \qquad (5 - 38, a)$$

$$\eta_e = N_{ad} / N_e \qquad (5 - 38, b)$$

من الواضح أن $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$

تحسب الاستطاعة المنقولة بوساطة المحرك الكهربائي بعد أخذ مردود النقل $\eta`$ بالحسبان.

$$N_E = N_e / \eta` . \eta_E$$

إن العلاقة بين المعاملات الحجمية والطاقية تعدّ من أهم مسائل الضاغط المكبسي . نلاحظ أن النسبة $\Delta i_a / v_1$ في العلاقة (5 - 36) تعبر عن الضغط البياني الوسطي النظري P_{iT} .

عند ذلك من العلاقات (5 - 35) ، (5 - 36) ، (5 - 38) نحصل على :

$$\eta_i = \frac{V_T . \lambda . P_{iT}}{V_T . P_i} = \lambda \frac{P_{iT}}{P_i} \qquad (5 - 39)$$

يمكن تبديل النسبة P_{iT}/P_i بنسبة المساحتين النظرية والفعلية للمخططات البيانية انظر الشكل (5 - 9) .

إن إشارة (+) على الشكل تعني مساحات فعلية زائدة ، أما إشارة (-) تعني أن المساحة الفعلية لاتغطي هذه المساحات . قيمة المساحات المذكورة تتعلق بدرجة انحراف الإجراءات العملية للضاغط الحقيقي عن الإجراءات النظرية . النسبة P_i/P_{iT} تسمى معامل الضغط البياني ρ_i . وبالتالي فإن العلاقة (39 - 5) يمكن أن تكتب بالشكل :

$$\eta_i = \lambda / \rho_i$$

تتأرجح القيمة الوسطية للمعامل ρ_i في المجال (1.05 .. 0.95) ، لذلك من أجل الحسابات التقريبية يمكن افتراض أن :

$$\eta_i \approx \lambda \qquad (5 - 40)$$

توضح العلاقتان (39 - 5) و (40 - 5) أنه بازدياد الضياعات الحجمية ، مثلاً من جراء زيادة اهتلاك الضاغط تنخفض الفعالية الطاقية .

على الشكل (15 - 5) علاقة المعاملات الطاقية بنسبة ضغطي التكاثف والغليان وذلك للضواغط ذات الإنتاجية المتوسطة وذات القيادة المفتوحة .

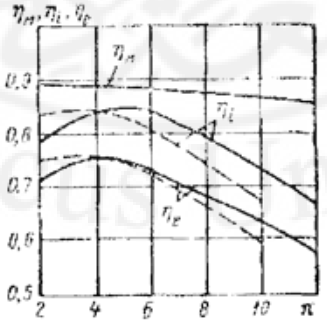
عند تصميم الضواغط الحديثة فإن قيم معاملات المردود الطاقية تحدد حسب المعطيات التجريبية للآلات ذات النوع الواحد .

يمكن من أجل التقدير التقريبي للمردود البياني أن ينصح باستخدام علاقة ليفين (Levin) التجريبية:

$$\eta_i = \lambda_w + bt_o \qquad (5 - 41)$$

إذ : t_o : درجة حرارة الغليان .

b : معامل تجريبي ويساوي (0.002) لضواغط الأمونيا الأفقية و (0.001) لضواغط الأمونيا العمودية و (0.0025) لضواغط الفريون .



الشكل (15 - 5) المعاملات الطاقية للضاغط المكبسي ذي الإنتاجية المتوسطة R22 _____ R717 ,

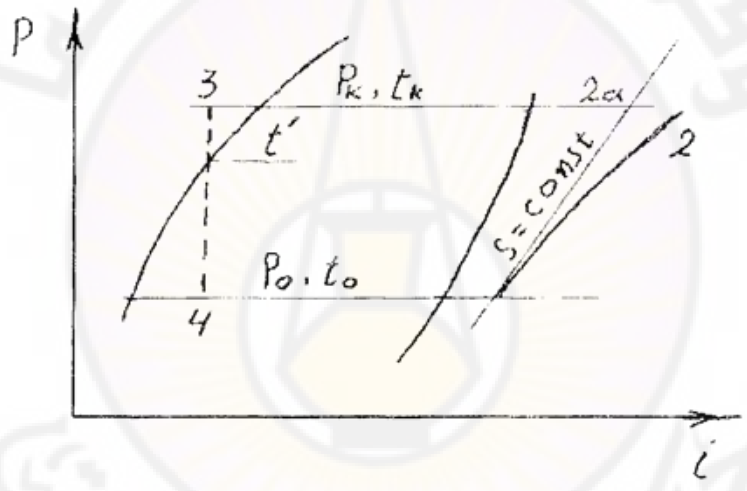
8 - أ - 5 – خصائص الضواغط المكبسية :

Characteristic Reciprocating Compressors :

إن علاقة البارامترات Q_o , N_e , ε_e بدرجتي حرارة الغليان والتكاثف ، وكذلك علاقة λ , η_i , η_e بنسبة الضغوط P_D/P_S تسمى خصائص الضواغط المكبسية .

تحدد الإنتاجية التبريدية للضاغط وفقاً للعلاقة (34 - 5) والشكل (16 - 5) كالتالي:

$$= \lambda . V_T . q_v \frac{i_1 - i_4}{v_1} Q_o = G_{ad} (i_1 - i_4) = \lambda . V_T . \qquad (5 - 42)$$



الشكل (16 - 5) دورة آلة التبريد

يمكن انطلاقاً من العلاقة (38 - 5) والشكل (16 - 5) التعبير عن الاستطاعة الفعالة للضاغط بالشكل :

$$N_e = \frac{G_{ad}(i_{2a} - i_1)}{\eta_i . \eta_M} = \lambda \frac{V_T}{v_1} \frac{i_{2a} - i_1}{\eta_e} \qquad (5 - 43)$$

يمكن على أساس العلاقتين (42 - 5) و (43 - 5) أن نحصل على معامل الأداء التبريدي الفعال للضاغط :

$$\varepsilon_1 = \frac{Q_o}{N_e} = \frac{(i_1 - i_4)\eta_i . \eta_M}{(i_{2a} - i_1)} \qquad (5 - 44)$$

تحليل العلاقة (42 - 5) ودورة عمل آلة التبريد المبينة على الشكل (16 - 5) بإبراز العوامل الأساسية التي تحدد الإنتاجية التبريدية للضاغط . إن مثل هذه العوامل :

١. الخواص الترموديناميكية لوسيط التبريد .

٢. درجة حرارة الغليان ودرجة التكاثف .

٣. درجة حرارة وسيط التبريد قبل صمام الخنق t` .

٤. الحالة الفنية للضاغط .

تعد علاقة الإنتاجية التبريدية بدرجتي حرارة الغليان والتكاثف مسألة مهمة جداً تظهر عند الاستثمار وعند تصميم آلات التبريد .

تسمى العلاقة $Q_o = f(t_o)$ عند درجة حرارة تكاثف ثابتة (t_k = const) خاصة الإنتاجية التبريدية للضاغط .

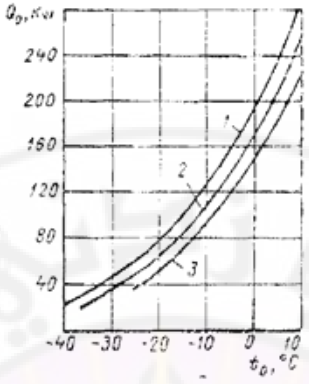
على الشكل (17 - 5) تتضح خصائص الضاغط ΠΙ80 ذي البارامترات التالية:

عدد الأسطوانات 8 ، قطر الأسطوانة 76 mm ، شوط المكبس 66 mm ،

$V_T = 0.0575\ m^3/Sec$ عند $n = 24\ Sec^{-1}$.

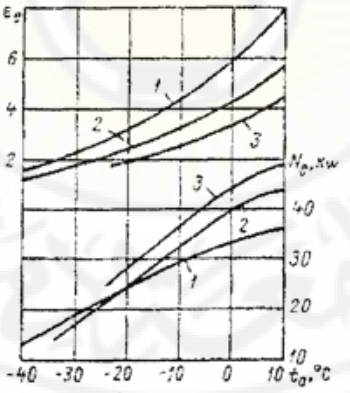
من الشكل نرى أن الإنتاجية التبريدية تقل بانخفاض درجة حرارة الغليان وبارتفاع درجة حرارة التكاثف . في كلتا الحالتين ترتفع نسبة الضغوط P_k/P_o ، وهذا يؤدي إلى انخفاض معامل التغذية λ انظر العلاقة (29 - 5) . إن السبب الأكثر تأثيراً في انخفاض Q_o بانخفاض t_o هو انخفاض الإنتاجية الحجمية q_v . إن نسبة تأثير q_v و λ في انخفاض Q_o يوضحه المثال التالي :

انخفاض درجة حرارة الغليان من ^oC 15- حتى ^oC 20- عند $t_k = 30\ ^oC$ الشكل (17 - 5) يؤدي إلى انخفاض Q_0 بمعدل 22% تقريباً منها 17% بسبب q_v و 5% بسبب λ .



الشكل (17 - 5) خصائص الضاغط فيما يتعلق بالإنتاجية التبريدية عند درجة حرارة تكاثف
$1: t_k = 30\ ^oC$, $2: t_k = 40\ ^oC$, $3: t_k = 50\ ^oC$

إضافة إلى الخصائص المتعلقة بالإنتاجية التبريدية يشار في المعطيات الفنية للضاغط إلى الخصائص المتعلقة بالاستطاعة والمعامل التبريدي . يبين الشكل (18 - 5) الخصائص الطاقية للضاغط П80 ، والعامل على R22 .



الشكل (18 - 5) الخصائص الطاقية للضاغط П80 :
3 .. 1- كما هو في الشكل (17 - 5)

إن العلاقة $N_e = (t_o, t_k)$ تنشأ على أساس العلاقة (43 - 5) مع أخذ علاقة η_e بنسبة الضغوط $\Pi = P_k/P_o$ انظر الشكل (15 - 5) . بانخفاض درجة حرارة

الغليان يزداد فرق الانتالبي ($i_{2a} - i_1$) ولكن في الوقت نفسه يزداد v_1 وينخفض λ .
هذا يؤدي إلى أنه عند قيمة ما للنسبة P_k/P_o تأخذ الاستطاعة الفعالة قيمة أعظمية.
وقد أوضحنا سابقاً أنه للضاغط النظري وعند $k = const$ تكون نسبة الضغوط :

$$K^{\frac{k}{k-1}} = P_k/P_o$$

بوضع هذه العلاقة في معادلة الاستطاعة الأديباتية

$$N_{ad} = G_{ad}.P_o.v_1.\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{P_k}{P_o}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

نحصل على

$$N_{ad\ max} = G_{ad}.v_1.P_o.k$$

أو

$$N_{ad\ max} = \lambda.v_T.P_o.k$$

طبقاً للعبارة الأخيرة يمكن تحديد القيمة التقريبية للاستطاعة الفعالة الأعظمية :

$$N_{e\ max} = N_{ad\ max} / \eta_e = \lambda.V_T.P_o.k / \eta_e \qquad (5 - 45)$$

بهذا الشكل فإن الاستطاعة الأعظمية توافق ضغط الغليان P_o المحدد من العلاقة:

$$P_o = P_k \Big/ K^{\frac{k}{k-1}}$$

تبين خصائص الضاغط المتعلقة بمعامل التبريد أن ε_e تنخفض بارتفاع درجة حرارة التكاثف . وهذا يجب أخذه بالحسبان عند اختيار نظام عمل آلة التبريد .

9 - 1 - 5 – تنظيم الإنتاجية التبريدية للضاغط المكبسي :

Regulation Of Refrigeration Productivity

يمكن تنظيم الإنتاجية التبريدية للضاغط المكبسي باستخدام احدى الطرائق التالية :

١ – تغير عدد دورات محور الضاغط :

بهذه الطريقة تتغير الإنتاجية التبريدية للضاغط بشكل يتناسب تقريباً مع عدد دورات محور الضاغط.

إن تغير سرعة دوران المحور يمكن أن يتم على مراحل أو بشكل تدريجي . في الحالة الأولى يستخدم محرك كهربائي متعدد السرعات ذو سرعتين أو ثلاث سرعات دوران. التنظيم التدريجي يتم غالباً بإدخال مقاومة متغيرة .

من ميزات التنظيم بتغير سرعة الدوران غياب التجهيزات الإضافية في تصميم الضاغط ، الحفاظ على قيم عالية لمعاملات الإنتاجية الحجمية والطاقية للضاغط.

ولكن التعقيد وارتفاع كلفة النواقل الكهربائية تحد من مجال استخدام هذه الطريقة من التنظيم.

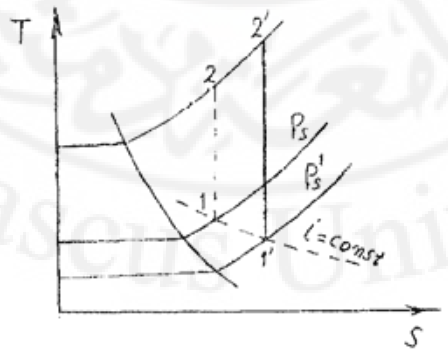
٢ – خنق البخار قبل السحب :

إن التغير التدريجي لإنتاجية الضاغط يمكن أن يتحقق بتركيب نظام خنق على خط السحب كصمام مثلاً . عند تقليل مقطع المرور في صمام الخنق تزداد مقاومته ، لذلك فإن ضغط البخار القادم إلى الأسطوانة ينخفض من P_s حتى P_s' الشكل (19 - 5) . عند ذلك فإن الضغط في المبخر وبالتالي الإنتاجية التبريدية q_o تبقيان دون تغير ، ولكن العمل الأديباتي النوعي يزداد ، أي أن :

$$w`_{ad} = i_{2`} - i_{1`} > i_2 - i_1$$

معامل التغذية للضاغط ينخفض لأن المعامل الحجمي λ_c ينخفض وفقاً للعلاقة (29 - 5). ينخفض أيضاً المعامل λ_w و η_i بسبب ارتفاع درجة حرارة الدفع.

الاستطاعة البيانية للضاغط $N`_i$ في النظام الجديد يمكن أن تزداد ويمكن أن تنخفض وذلك يتعلق بنسبة الضغوط $P_k/P_s$ و $P`_s$.



الشكل (19 - 5) تغير حالة البخار عند خنقه قبل السحب إلى الضاغط

لتقويم المعامل الطاقي لطريقة التنظيم هذه نقارن معاملي التبريد دون الخنـق ومـع الخنق.

تحدد الإنتاجية التبريدية للضاغط وفقاً للحالة المذكورة من العلاقتين :

$$Q_o = \lambda . V_T . q_o / v_1 \qquad (5-46)$$

$$Q`_o = \lambda` . V_T . q_o / v`_1 \qquad (5-46, a)$$

الاستطاعة البيانية لهذين النظامين :

$$N_i = \lambda . V_T . w_{ad} / v_1 \qquad (5-47)$$

$$N`_i = \lambda` . V_T . w`_{ad} / v`_1 \qquad (5-47, a)$$

من العلاقات السابقة ينتج :

$$Q`_o = Q_o ( \lambda` / \lambda) (v_1 / v`_1)$$

$$N`_i = N_i ( \lambda` / \lambda) (v_1 / v`_1 ) ( w`_{ad} / w_{ad})$$

معامل التبريد الفعال عند الخنق :

$$\varepsilon'_i = \frac{Q'_o}{N'_i + N_f} = \frac{Q_o}{N_i \cdot \frac{w`_{ad}}{w_{ad}} + N_f \cdot \frac{\lambda}{\lambda'} \cdot \frac{v'_1}{v_1}} \qquad (5-48)$$

بما أن $w`_{ad} > w_{ad}$ ، $v`_1 > v_1$ و $\lambda` < \lambda$ لذا فإن $\varepsilon`_e < \varepsilon_e$.

٣ – تمرير جزء من البخار من خط الدفع إلى خط السحب :

في هذه الطريقة يقسم البخار المضغوط بالضاغط إلى قسمين :

أحدهما يتجه إلى المكثف وبعده عبر صمام الخنق إلـى المبخـر إذ يعطـى الأثـر التبريدي ، أما القسم الآخر يخنق في صمام خنق خاص (ضمن تحويلة) حتى ضغط السحب ويدخل إلى الضاغط ولايشارك في إجراء الحصول على التبريد.

بهذا الشكل فإن الإنتاجية التبريدية للضاغط تنخفض أما الاسـتطاعة فتبقـى تقريبـاً كالسابق.

معامل التبريد بعدم وجود خنق ومع وجود خنق :

$$\varepsilon_e = \frac{Q_o}{N_e} \qquad (5-49)$$

$$\varepsilon'_e = \frac{Q'_o}{N'_e} \qquad (5-49, a)$$

وبالتالي يكون :

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} = \frac{Q_o}{Q'_o}$$

وهذا يعني أن معامل التبريد بعد استخدام التحويلة ينخفض بشكل يتناسب مع انخفاض الإنتاجية التبريدية .

إضافة إلى انخفاض هذا المعامل الطاقي باستخدام التحويلة توجد سيئة أخرى وهي انخفاض المعاملات الحجمية والطاقية بسبب التحميص الزائد لبخار السحب وازدياد درجة حرارة الدفع .

٤ – وصل فراغ ميت إضافي :

في هذه الطريقة يوصل إلى الأسطوانة حجم إضافي تتغير قيمته بالتدريج أو مرحلياً.

يزيد الحجم الإضافي من الفراغ الميت للأسطوانة ، يقلل من المعامل الحجمي ، يقلل قيمة معامل التغذية وإنتاجية الضاغط .

بما أن درجتي حرارة الغليان والتكاثف لاتتغيران ، لذا فإن انخفاض الإنتاجية التبريدية يتناسب طرداً مع انخفاض معامل التغذية . الكلام نفسه (مع بعض التقريب) ينطبق على الاستطاعة البيانية .

معامل التبريد الفعال بعد وصل حجم إضافي يساوي :

$$\varepsilon'_f = \frac{Q_o(\lambda'/\lambda)}{N_i(\lambda'/\lambda) + N_f} = \frac{Q_o}{N_i + N_f(\lambda/\lambda')} \qquad (5-49,b)$$

بمقارنة العلاقتين (48 - 5) و (49 - 5 , b) نرى أن تنظيم إنتاجية الضاغط بطريقة وصل حجم إضافي مناسب طاقياً أكثر من خنق البخار عند السحب .

٥ – الفتح الإجباري لصمامات السحب :

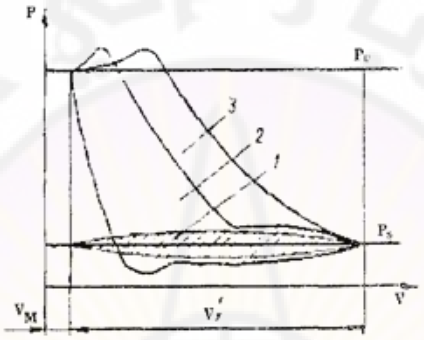
يطبق فقط بهذه الطريقة تنظيم الإنتاجية التبريدية على الضواغط غير المباشرة ، تفصل أسطوانات مستقلة عن العمل بوساطة تثبيت صمامات السحب في وضع مفتوح. يتم الفتح الإجباري والحفاظ على الوضع المفتوح لصمامات السحب بمساعدة القيادة الهيدروليكية أو الهوائية أو الكهرطيسية.

الطريقة الكهرطيسية لرفع صفيحة صمام السحب تمتلك عدة ميزات :

الوثوقية والخدمة الطويلة لعدم وجود الأجزاء المنزلقة ، صغر الحجم المشغول .

يدفع البخار المسحوب عند حركة المكبس من الأعلى إلى الأسفل في الأسطوانة المفصولة إلى حجرة سحب الضاغط عند الحركة العكسية للمكبس.

هذه الطريقة تعّد اقتصادية بشكل كاف ، لأنه في الأسطوانة ذات الصمام المفتوح يصرف عمل فقط للتغلب على الاحتكاك وعمل غير كبير نسبياً لدفع البخار عبر الصمام وهذا العمل يكافئ المساحة المهشرة (1) في المخطط البياني (انظر الشكل 20 - 5) .



الشكل (20 - 5)المخططات انبيانية

الإنتاجية التبريدية للضاغط ذي عدد الأسطوانات (i) تنخفض بعد الفتح الإجباري لصمامات السحب لأسطوانة أو أكثر وفقاً للمعادلة التالية :

$$Q'_o = \frac{Q_o . i'}{i}$$

إذ : i` عدد الأسطوانات التي تكون صمامات السحب لها في حالة عمل طبيعي بعد التنظيم .

بشكل مشابه تنخفض الاستطاعة البيانية للضاغط (بدون حساب العمل البياني في الأسطوانات المفصولة) :

$$N'_i = \frac{N_i . i'}{i}$$

استطاعة الاحتكاك في الأسطوانة المفصولة تنخفض بشكل قليل ، لذلك :

$$\varepsilon'_r = \frac{Q_o . i'/i}{\frac{N_i . i'}{i} + N_f} = \frac{Q_o}{N_i + N_f . i/i'}$$

وبأخذ العلاقة البدهية بالحسبان:

$$i'/i = \lambda'/\lambda$$

نجد :

$$\varepsilon' = \frac{Q_o}{N_i + N_r \cdot \frac{\lambda}{\lambda'}}$$

تبين من هذه العلاقة أن انخفاض المعامل التبريدي بعد الفتح الإجباري لصمامات السحب مرتبط بازدياد استطاعة الاحتكاك نسبياً . إلا أن هذه الطريقة من التنظيم مناسبة طاقياً أكثر من طريقة خنق البخار عند السحب .

هناك طريقة لتنظيم الإنتاجية التبريدية للضاغط بالفتح الإجباري لصمام السحب خلال جزء من شوط المكبس (المخطط 2 على الشكل 20 - 5) .

المخطط (3) على هذا الشكل يطابق عمل الأسطوانة بدون تنظيم الإنتاجية .

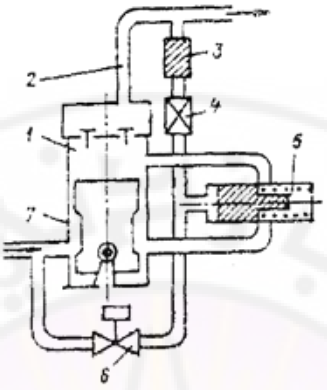
٦ – تمرير البخار عبر تحويلات تنظيم :

هذه الطريقة تستخدم في الضواغط المباشرة الكبيرة .

التحويلة (5) الشكل (21 - 5) تصل حجرة ضغط الأسطوانة (1) بحجرة السحب (7). فتحات التمرير للأسطوانة تقع على ارتفاع (3/4) من شوط المكبس . عندما يكون الصمام الكهرطيسي (6) مفتوحاً فإن العنصر المتحرك للتحويلة يقع في الوضع اليساري ولايعيق مرور البخار إلى حجرة السحب . عندما يكون الصمام الكهرطيسي مغلقاً فإن البخار يمر من خط الدفع (2) عبر المصفاة (3) وعبر صمام الخنق (4) ويرتفع الضغط بالتدريج في الحجرة الموجودة على يسار العنصر المتحرك.

وبذلك فإن العنصر المتحرك يتغلب على مقاومة النابض ويتحرك إلى اليمين ويغلق قناة المرور.

تستخدم أيضاً تحويلات التنظيم من أجل تخفيف الحمل عند الإقلاع .

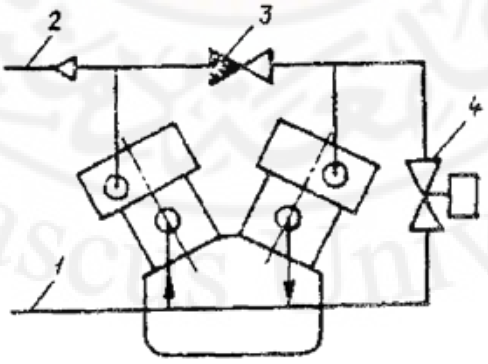


الشكل (21 - 5) مخطط تنظيم الإنتاجية التبريدية للضاغط المباشر بوساطة التحويلة

٧ – فصل أسطوانات مستقلة أو مجموعة أسطوانات معاً :

يبين الشكل (22 - 5) مخططاً مبسطاً لفصل مجموعة أسطوانات من الضاغط . عند فتح الصمام (4) فإن الأسطوانتين اليمينيتين تفصلان عن العمل لأن جهة الدفع لهما تتصل بجهة السحب (1) . أما الأسطوانتان اليساريتان فتعملان بشكل طبيعي لأن خط الدفع (2) مفصول عن المجموعة اليمنى بوساطة صمام عدم الرجوع (3).

إن هذا النظام يستخدم لتخفيف الحمل عن الضاغط عند الإقلاع .



الشكل (22 - 5) مخطط تنظيم الإنتاجية بفصل أسطوانة واحدة أو مجموعة أسطوانات

10 - 1 - 5 – حساب الضاغط المكبسي :

Calculation Of Reciprocating Compressor

يتم حساب الضاغط المكبسي وفق الترتيب التالي :

١. تحديد الحجم العامل

٢. اختيار البارامترات الأساسية

٣. الحساب الديناميكي الغازي

٤. الحساب الديناميكي

٥. الحساب من أجل المتانة

لحساب الحجم العامل من الضروري معرفة الإنتاجية التبريدية التي يجب أن يؤمنها الضاغط ، نظام العمل ، نوع وسيط التبريد .

يحدد نظام العمل بدرجات حرارة الغليان ، التكاثف ، السحب ودرجة حرارة سائل وسيط التبريد قبل صمام الخنق .

الحجم العامل لأسطوانة الضاغط (m^3/Sec)

$$V_T = \frac{Q_o}{\lambda . q_v} \qquad (5 - 50)$$

إذ q_v الإنتاجية التبريدية الحجمية (KJ/m^3).

الاستطاعة الفعالة في نظام العمل المحدد

$$N_e = \frac{N_{ad}}{\eta_e} \qquad (5 - 51)$$

يتم اختيار المعاملين λ ، η_e حسب المعطيات التجريبية للضواغط المصنفة والقريبة من حيث التصميم والإنتاجية من الضاغط قيد الحساب .

من أجل الحسابات الأولية التقريبية تؤخذ العلاقتان (32 - 5) و (33- 5) وغيرهما.

انخفاض الضغط عند السحب وعند الدفع يؤخذ كالتالي :

للضواغط الفريونية :

$$\Delta P_D = (0.1 \,..\, 0.15)\, P_D$$

$$\Delta P_S = (0.05 \,..\, 0.1)\, P_S$$

لضواغط الأمونيا :

$$\Delta P_D = (0.05 .. 0.07)\, P_D$$

$$\Delta P_S = (0.03 .. 0.05)\, P_S$$

يجب الإشارة إلى أن عمل الضاغط التبريدي لاينحصر في نظام محدد . في الشروط الحقيقية يمكن أن يختلف نظام العمل بشكل كبير عن الشروط المحددة (المعطاة) مثل تغير درجة حرارة الوسط المحيط ، تغير نظام التبريد .... الخ .

من أجل الاهتمام شروط العمل التجريبية للضاغط التبريدي المكبسي أدخلت ثلاثة أنظمة حسابية.

النظام الأول للحساب – هو نظام الفرق الأعظمي لضغطي التكاثف والغليان والذي يتم وفقه الحساب على أساس متانة عناصر ميكانيزم الحركة .

النظام الثاني للحساب – هو نظام الاستطاعة الأعظمية على محور الضاغط . في هذا النظام يأخذ الضغط البياني الوسطي قيمة أعظمية وتحدد الاستطاعة الأعظمية كالتالي :

$$N_{max} = P_{iTmax} \cdot V_T$$

ضغط التكاثف في هذا النظام فيحدد وفق درجة حرارة التكاثف الأعظمية لوسيط التبريد المعطى ، أما ضغط الغليان يحدد من النسبة التالية :

$$P_o \approx P_k/3$$

يتم وفق النظام الثاني للحساب حساب التزييت و اختيار استطاعة القيادة .

النظام الثالث للحساب – و هو نظام ضغوط الاختبار ، و يستخدم لحساب متانة أجزاء الهيكل (الغلاف) للضاغط و التي تعمل تحت ضغط أبخرة وسيط التبريد : علب المرافق ، مجموعات علب المرافق ، أغطية علب المرافق و الأسطوانات .

شروط حساب ضواغط التبريد المكبسية الحديثة وحيدة المرحلة مدرجة في الجدول (1-5) .

الجدول (1 - 5)

النظام	البارمترات	الإنتاجية التبريدية أعلى من 36KW					الإنتاجية التبريدية حتى 36KW				
		R22: R717	R12	R12 B1	R502	R13 B1	R 22	R 12	R12 B1	R502	R 13 B1
الأول	درجة حرارة التكاثف الحدية $t_K, {}^0C$	50	70	100	45	35	55	70	100	45	35
	ضغط التكاثف (P_K),MPa	1,96	1,88	1,69	1,88	1,96	2,2	1,88	1,69	1,88	1,96
	الفرق الأعظمي للضغط $(P_k - P_o)$MPa	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
الثاني	الضغط البياني الوسطي P_{im},MPa	0,81	0,69	0,52	0,36	1,04	0,83	0,69	0.52	0.36	1,04
	درجة حرارة الغليان $t_0, {}^0C$	0 (R_{22}) 10(R 717)	10	20	-20	-20	10	10	20	-20	-20
الثالث	الضغوط الإختبارية: للعناصر المصبوبة والملحومة	3,43 MPa									
	لقميص التبريد	0,98 MPa									

1 - 10 - 1 - 5 – المقاييس والبارامترات الأساسية للضاغط :

Dimension & Basic Parameters :

المقاييس الأساسية للضاغط تشمل مايلي :

D : قطر الأسطوانة ، S : شوط المكبس

تساعد المقاييس الأساسية على تحديد الحجم العامل لأسطوانات الضاغط i.

البارامترات الأساسية للضواغط هي التالية :

نسبة شوط الضاغط على قطر الأسطوانة $\psi = S/D$ ، سرعة الدوران $nSec^{-1}$ ، الجداء $\psi.n$ ، نسبة الحجم الميت $C\ \%$.

وتنتمي إلى البارامترات المشتقة كل من : السرعة الوسطية للمكبس (C_m , m/Sec) ، التسارع الأعظمي للمكبس (J_{max} , m/Sec^2) أوبارامتر التسارع ($Kj = S.n^2$, m/Sec^2) ، قوى العطالة النوعية الأعظمية i_{max} ، بارامتر قوى العطالة النوعية $K_i = S^{1.5}.n^2$ ، الحجم العامل للأسطوانة بالساعة أو بالثانية (V_T , m^3/Sec) .

عند حساب الضاغط من الضروري اختيار مجموعة البارامترات n , i , S , D التي تؤمن الحجم العامل المطلوب للأسطوانة وفق العلاقة التالية :

$$V_T = 0.25\ \pi\ D^2.S.i.n \qquad (5 - 52)$$

من العلاقة (5 - 52) وعلى فرض أن $S = \psi.D$ نحصل على :

$$D = \sqrt[3]{\frac{4.V_T}{\pi.\psi.i.n}} \qquad (5 - 53)$$

تبين العلاقة (5 - 53) أن قيمة ψ عند ثبات بقية البارامترات تؤثر في قطر الأسطوانة وشوط المكبس ، أي على مقاييس و تناسب الضاغط .

يؤدي ازدياد قيمة ψ إلى التقليل من قطر الأسطوانة ويختصر من نسبة الحجم الميت . ولكن في هذه الحالة يزداد شوط المكبس .

الضواغط ذات القيمة المنخفضة لـ ψ تكون ذات سرعة دوران عالية نسبياً . من المناسب زيادة قيمة ψ في الحالات التي يمكن فيها استخدام مواد ذات خواص ميكانيكية عالية لعناصر ميكانيزم الحركة وكذلك تأمين السرعة المسموح بها للبخار في مقاطع ممرات الصمامات .

قيمة ψ للضواغط التبريدية الحديثة تؤخذ كالتالي :

للضواغط ذات الوصلة المنزلقة مزدوجة التأثير (0.8 .. 0.9) .

للضواغط دون الوصلة المنزلقة (0.6 .. 0.8) .

تعد سرعة دوران عمود المرفق إحدى البارامترات الأساسية للضاغط . بزيادة n تقل المقاييس الخارجية وكتلة الآلة .

إلا أنه تتعلق بـ n ليس فقط مقاييس الضاغط بل أيضاً المعاملات الحجمية والطاقية، الخصائص الديناميكية ، تسرب وسائط التبريد ، حجم العمل اللازم للتصنيع ،الوثوقية ،الاقتصادية، عمر الآلة والقيادة .

تتصف الضواغط الحديثة بسرعات دوران كبيرة . ولكن ارتفاع سرعة الدوران (n) يؤدي إلى الارتفاع الحاد لقوى العطالة وإلى ضياعات إضافية بالاستطاعة والإنتاجية وإلى انخفاض الوثوقية (الأمان) .

يكون جزء كبير من الضواغط التبريدية الحديثة المباشرة ذا قيادة مباشرة من محرك كهربائي. تؤخذ سرعة الدوران لهذه الضواغط وفقاً للمحركات الكهربائية ذات سرعة الدوران التزامنية $16.7\ Sec^{-1}$ و $25\ Sec^{-1}$. في الوقت الحاضر توجد ضواغط ذات سرعة دوران $50\ Sec^{-1}$.

يتعلق بسرعة الدوران بشكل مباشر بارامتر آخر مهم وهو السرعة الوسطية للمكبس:

$$C_m = 2.S.n \qquad (5 - 54)$$

تحدد السرعة الوسطية للمكبس الضياعات الهيدروليكية في مسالك الغاز ، قوى العطالة، استطاعة الاحتكاك واهتلاك العناصر .

تتراوح قيمة C_m للضواغط الحديثة المباشرة في المجال (2 .. 4.5 m/Sec) .

إن أحد المؤشرات الديناميكية للضاغط ، والتي تصف درجة التسريع له هو بارامتر القوى النوعية للعطالة K_i :

$$K_i = S^{1.5} . n_2 \qquad (5 - 55)$$

باختيار قيمة i و K_i يمكن تحديد قطر الأسطوانة باستخدام العلاقة النصف تجريبية التالية :

$$D \approx 1.15 \sqrt[2.25]{\frac{V_T}{K_i^{0.5}.i}} \qquad (5 - 56)$$

11 - 1 - 5 – الدورة النظرية للانضغاط المتعدد المراحل :

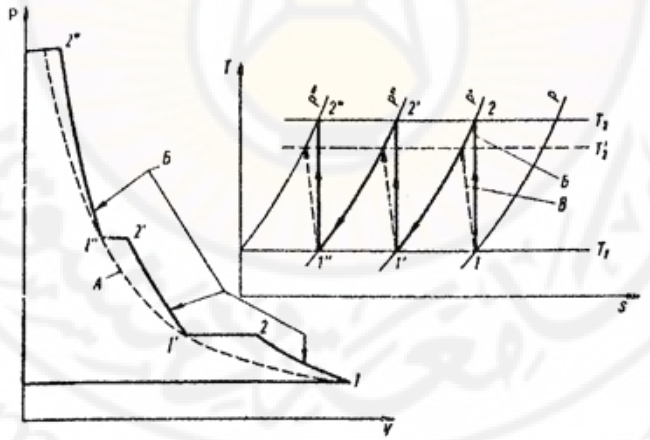
Theoretical Cycle Of Multi Stage Compression :

رأينا في حالة الانضغاط بمرحلة واحدة أنه كلما ازدادت معنا نسبة الانضغاط ازداد الانحراف على حالة الانضغاط الايزوترمي مهما بلغت جودة عملية تبريد جدران الأسطوانة ، لذلك فإنه لتقليل العمل المصروف عند ارتفاع نسبة الانضغاط مابين الضغط النهائي والبدائي يعمد إلى تجزئة الانضغاط باستعمال عدة مراحل انضغاط .

يتم بهذا الأسلوب ضغط الغاز في المرحلة الأولى إلى ضغط بيني معين إذ يتم تبريد الغاز المضغوط في مبرد ومن ثم يؤخذ الغاز إلى أسطوانة المرحلة الثانية ليتم ضغطه إلى قيمة ضغط أعلى وهكذا إلى أن نصل إلى قيمة الضغط النهائي المطلوب.

تمكن الخاصة المميزة للانضغاط المتعدد المراحل في تجزئة عملية الانضغاط إضافة إلى التبريد الحاصل بين كل مرحلتي انضغاط .

يبين الشكل (23 - 5) تمثيل الدورة النظرية للانضغاط المتعدد المراحل على كل من مخططي P-v و T-s .



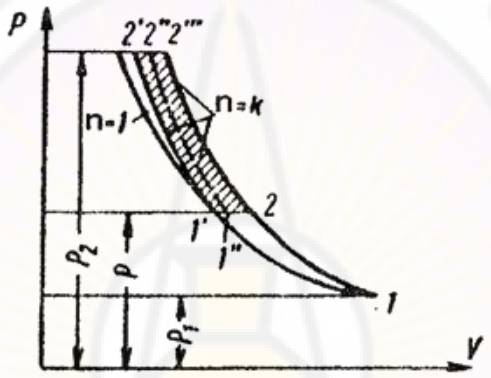
الشكل (23 - 5) تمثيل الدورة النظرية للانضغاط المتعدد المراحل

نلاحظ من الشكل (24 - 5) أنه يتم في مرحلة الانضغاط الأولى ضغط الغاز من الضغط P_1 وحتى قيمة الضغط البيني P وفق الإجراء الأديباتي (2-1) و من ثم يتم تبريده

عند ضغط ثابت حتى درجة الحرارة الابتدائية المتمثلة في النقطة `1 وبالتالي ينقص حجم الغاز بالمقدار (`1-2).

يتم الانضغاط في المرحلة الثانية بدءاً من الضغط P وحتى الضغط P_2 بشكل أديباتي (الخط `2-`1) .

للمقارنة نفرض أن عملية الانضغاط من P_1 إلى P_2 تتم بشكل مباشر بمرحلة انضغاط واحدة (الإجراء ```2-1) ، نلاحظ أنه في حالة الانضغاط ثنائي المراحل نكون قد وفرنا عملاً يكافئ المساحة المهشرة (`2 - ```2 - 2 - `1) .



الشكل (24 - 5) تمثيل دورة الانضغاط ثنائية المراحل

من مميزات عملية الانضغاط متعددة المراحل :

١- الاقتصاد في العمل اللازم لتحقيق الانضغاط .

٢- تخفيض قيمة درجة الحرارة النهائية T_d ، حيث إنه كما هو معلوم تتبع T_d لدرجة حرارة السحب الابتدائية و لنسبة الانضغاط حسب المعادلة :

$$T_d = T_{ex} \cdot \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} .$$

إذ : T_{ex} ـ درجة الحرارة المطلقة للغاز عند دخوله إلى المرحلة الأولى. بزيادة قيمة نسبة الانضغاط فإن درجة حرارة الغاز في الأسطوانة سوف تصل إلى درجة غير مرغوبة أو إلى قيمة غير مسموح بها إذ يؤدي ذلك إلى انحلال زيت التزييت وبالتالي سرعة اهتراء السطوح.

٣- تقل كثيراً قيمة القوة المكبسية ، ففي مرحلة انضغاط واحدة إذا كان الضغط في نهاية عملية الانضغاط مرتفعاً فإن ذلك يتطلب قوة مكبسية كبيرة ، أما في ضاغط متعدد المراحل فإن مساحة المكبس تكون أصغر وبالتالي تكون القوى المكبسية أصغر، حتى أنه في حالة تجميع القوى المكبسية في مراحل الانضغاط كافة فإنها تبقى ذات قيمة أصغر من قيمة القوة اللازمة في حال مكبس واحد.

٤- تزداد قيمة المعامل الحجمي λc ، فمن الواضح أنه عند زيادة نسبة الانضغاط يزداد ضغط الغاز النهائي ويزداد بالتالي الحجم المتمدد والمتبقي في الفراغ الميت مما يؤدي إلى التقليل من كمية غاز السحب ويمكن أن تقل إنتاجية الضاغط إلى الصفر عندما تبلغ نسبة الانضغاط قيمة معينة.

مما سبق نستنتج أن زيادة عدد مراحل الانضغاط يؤدي إلى تخفيض نسبة الانضغاط لكل مرحلة وبالتالي زيادة قيمة λc .

وقد مرت معنا في الفصل الرابع طريقة حساب الضغط البيني للضواغط ثنائية المراحل والذي يكون عنده العمل المبذول أصغرياً (انظر الفقرة ٤-٥-٣) ، أما بالنسبة للضواغط المتعددة المراحل المؤلفة من m مرحلة فتوجد قيمة الضغط بين المراحل من شرط تساوي نسبة الضغط في المراحل أي أن :

$$\frac{P'}{P_1} = \frac{P''}{P'} = \frac{P'''}{P''} = \ldots\ldots = \frac{P_2}{P^{(m-1)}}$$

إذا رمزنا لنسبة الانضغاط في المراحل بـ ε يمكن أن نكتب :

$$\varepsilon^m = \frac{P'}{P_1}\cdot\frac{P''}{P'}\cdot\frac{P'''}{P''}\ldots\ldots\frac{P_2}{P^{(m\ 1)}} = \frac{P_2}{P_1}$$

ومنه :

$$\varepsilon = \sqrt[m]{P_2/P_1} \qquad (5 - 57)$$

أي أنه لجميع مراحل الانضغاط تكون أفضل نسبة انضغاط مرحلية تساوي الجذر ذا الأس m (عدد المراحل) لنسبة الانضغاط الإجمالية وبالتالي يكون عمل جميع المراحل متساوياً.

مثال :

أوجد قيمة العمل اللازم لتحقيق انضغاط $1\ m^3$ من الضغط الابتدائي $1\ at$ إلى الضغط $10\ at$ في الحالات التالية :

١. عند استعمال ضاغط بمرحلة واحدة .

٢. بمرحلتين .

٣. بثلاثة مراحل .

بفرض أن الانضغاط أديباتي في الحالات الثلاثة .

٤. أوجد العمل المصروف في حالة الانضغاط الايزوترمي فيما لو كان الضاغط وحيد المرحلة.

الحل :

١ – انضغاط أديباتي بمرحلة واحدة :

$$W = P_1 . v_1 \frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

$$= \frac{1.4}{0.4} x 10^4 x 1\left[(10)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1\right] = 32574 \qquad (kgf.m)$$

٢ – انضغاط أديباتي بمرحلتين :

$$P = \sqrt{10x1} = 3.16$$

$$W = 10^4 x 1 \frac{1.4}{0.4} x\left[\frac{3.16^{\frac{0.4}{1.4}}}{1} + \frac{10^{\frac{0.4}{1.4}}}{3.16} - 2\right]$$

$$W = 27264 \qquad (kgf.m)$$

٣ – انضغاط أديباتي بثلاث مراحل :

$$P = \sqrt[3]{10} = 2.15$$

$$W = 10^4 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{1.4}{0.4} \text{ x } 3\left[2.15^{\frac{0.4}{1.4}} - 1\right] = 25668 \quad (kgf.m)$$

٤ – انضغاط ايزوترمي بمرحلة واحدة :

$$W = 10^4 \text{ x } 1 \text{ x } Ln(10/1) = 23026 \qquad (kgf.m)$$

نلاحظ من خلال هذا المثال أنه مع زيادة عدد مراحل الانضغاط تصغر قيمة العمل المصروف وتقترب من قيمةالعمل المصروف في حالة الانضغاط الايزوترمي.

يجب أثناء اختيار قيم الضغط بين المراحل أن يؤخذ بالحسبان الضياع الحاصل بين المراحل.

1 - 11 - 1 - 5 - تحديد عدد مراحل الانضغاط :

Determination Of Compression Stages :

ننطلق عند تحديد عدد مراحل الانضغاط للضواغط ذات الإنتاجية المتوسطة والكبيرة من مبدأ وهو أن نسبة الانضغاط في أي مرحلة يجب أن لاتتجاوز $\varepsilon = 4$ إذ تبقى درجة الحرارة في نهاية الانضغاط ضمن الحدود المعقولة وتحقق إمكان المحافظة على خواص جيدة لزيت التزييت .

في الضواغط ذات الإنتاجية الصغيرة وعند وجود تبريد جيد فإنه يسمح بتجاوز نسبة الانضغاط المذكورة وقد تصل النسبة إلى $\varepsilon = 7$ وفي ضواغط آلات التبريد قد تصل حتى $\varepsilon = 9$.

في الوقت الحاضر بعد أن تطورت صناعة الضواغط المستعملة في آلات التبريد ذات الفراغ الميت الصغير جداً قد تتجاوز نسبة الانضغاط القيمة $\varepsilon = 9$.

كلما زاد عدد مراحل الانضغاط اقتربت دورة الانضغاط النظرية من دورة الانضغاط الايزوترمية ولكن يجب الانتباه إلى أن زيادة عدد مراحل الانضغاط ولو أنها تنقص من كمية العمل المصروف لتحقيق الدورة إلا أنها تزيد من كلفة التأسيس كما تزداد قيمة الضياعات الحاصلة في المراحل.

يمكن إجراء تحليل لتأثير تعدد المراحل في الاستطاعة بإدخال مايسمى المردود الايزوترمي والبياني وفق العلاقة :

$$\eta_{iso,ind} = \frac{W_{iso}}{\sum W_{ind}} \qquad (5 - 58)$$

إذ :

W_{iso} : العمل الايزوترمي والذي لايتأثر بعدد المراحل .

ΣW_{ind} : مجموع الأعمال البيانية للضاغط المتعدد المراحل .

لدينا :

$$W_{iso} = P_{ex1} \cdot V_{ex1} \cdot \ln \varepsilon_k \qquad (5-59)$$

إذ :

P_{ex1} ، v_{ex1} : الضغط والحجم النوعي للغاز الداخل إلى قناة السحب للأسطوانة الأولى.

ε_k : نسبة الانضغاط الإجمالية .

يمكن بتعميم علاقة العمل الأديباتي لضاغط وحيد المرحلة الحصول على علاقة العمل البياني لضاغط متعدد المراحل ذي m مرحلة مع الأخذ بالحسبان تساوي نسب الانضغاط في جميع المراحل حيث $\varepsilon = \sqrt[m]{\varepsilon_k}$ ، نحصل على :

$$\sum W_{ind} = \frac{P_{ex1} \cdot V_{ex1}}{\lambda_{v_w}} \cdot \frac{k}{k-1} \left\{ \left(\varepsilon_1'^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \frac{T_{ex2}}{T_{ex1}} \left[\left(\varepsilon_2'^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \left(\varepsilon_3'^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \ldots + \left(\varepsilon_m'^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right] \right\}$$

إذ :

T_{ex1} : درجة الحرارة المطلقة للغاز عند دخوله إلى المرحلة الأولى و أن نسبة الانضغاط في الضاغط $\varepsilon' = \varepsilon (1+\delta_{ex} + \delta_d)$.

δ_d ، δ_{ex} : ضياع الضغط في السحب والدفع .

T_{ex2} : درجة الحرارة المطلقة للغاز عند دخوله إلى المراحل التالية.

2 - 11 - 1 - 5 – التبريد البيني غير الكامل بين مراحل الانضغاط :

Imperfect Intercooling Between Compression Stages :

يتحدد إمكان تحقيق تبريد بيني كامل بين مرحلتين بدرجة حرارة دخول المياه إلى المبرد وعلى سبيل المثال فإنه في فصل الشتاء غالباً ما تكون درجة حرارة السحب للغاز أخفض من درجة حرارة مياه التبريد مما يؤدي إلى الابتعاد عن حصول التبريد البيني الكامل بين مراحل الانضغاط . إن عدم تحقيق تبريد بيني كامل بين مراحل الانضغاط يؤدي إلى زيادة العمل المصروف والسبب في ذلك هو ارتفاع درجة حرارة السحب للمراحل التالية وبالتالي زيادة حجم السحب النوعي مما يدعو لاستعمال أسطوانات ذات مكبس أكبر حجماً إضافة إلى زيادة العمل المصروف .

يتناسب مقدار زيادة حجم الغاز نتيجة عدم حدوث تبريد بيني كامل مع نسبة الزيادة في درجة الحرارة فوق درجة حرارة السحب للغاز في المرحلة الأولى أي :

$$\Delta V_{ex} / V_{ex} = \Delta T_{ex} / T_{ex} \qquad (5 - 60)$$

إذ :

ΔV_{ex} : الزيادة في حجم السحب .

V_{ex} : حجم السحب عند درجة حرارة مساوية درجة حرارة سحب المرحلة الأولى أي عند حدوث تبريد بيني كامل .

ΔT_{ex} : ارتفاع درجة الحرارة بين المرحلتين عن درجة حرارة التبريد البيني الكامل.

T_{ex} : درجة حرارة السحب للمرحلة الأولى والمساوية درجة حرارة التبريد البيني الكامل.

إذا كانت درجة حرارة السحب الوسطية للغاز نحو $27\ C^o$ أي $300\ K^o$ فإن زيادة درجة واحدة عن هذه الدرجة تؤدي إلى زيادة في الحجم تساوي 0.3 % وإذ إن العمل يتناسب طردا مع حجم السحب لذلك تكون قيمة الزيادة في العمل المصروف متناسبة مع هذه القيمة.

مما سبق نستنتج أنه مع زيادة عدد المراحل يزداد ضياع العمل الناتج عن عدم تحقيق التبريد البيني الكامل و بالتالي فإنه لزيادة اقتصادية آلة التبريد المتعددة المراحل فإنه يعمد إلى تحقيق التبريد البيني الكامل بين المراحل .

مسائل محلولة

مسألة 1 :

لدينا ضاغط مكبسي يمتص $100\frac{m^3}{h}$ من الهواء عند ضغط 1bar ودرجة حرارة $t_1 = 27^0C$، الضغط في نهاية الانضغاط $P_2 = 8$ bar .

أوجد الاستطاعة النظرية للضاغط وتصريف ماء التبريد إذا كان الارتفاع الحاصل في درجة حرارة مياه التبريد يساوي 13 درجة .

أجر الحسابات اللازمة في حالات الانضغاط الثلاث (أيزوترم-أديبات -بوليتروب إذا كان دليل البوليتروب $n = 1.2$) .

الحل :

١. حالة الانضغاط الأيزوترمي :

عمل الضاغط :

$$W = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln(P_2/P_1) = 10^5 \times 1 \times 100 \times \ln(8/1) = 20.8 \times 10^6 \text{ joul/Hr}$$

الاستطاعة النظرية :

$$N = \frac{W}{1000 \times 3600} = \frac{20.8 \times 10^6}{1000 \times 3600} = 5.8 \text{ KW}$$

الحرارة المطروحة في مياه التبريد :

$$Q = W = 20.8 \times 10^6 \text{ joul/Hr}$$

٢. حالة الانضغاط الأديباتي :

$$W_a = \frac{K}{K-1} P_1 \cdot V_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}} - 1]$$

$$= (1.4/0.4) \times 10^5 \times 100[(8/1)^{0.4/1.4} - 1] = 28.4 \times 10^6 \text{ joul/Hr}$$

الحرارة المطروحة في الإجراء الأديباتي تساوي الصفر.

بالتعريف الاستطاعة :

$$\text{KW } N = \frac{W}{3600 \times 1000} = \frac{28.4 \times 10^6}{3600 \times 1000} = 7.9$$

٣. حالة الانضغاط البوليتروبي :

$$W = \frac{n}{n-1} \cdot P_1 \cdot V_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

$$= \frac{1.2}{0.2} \times 10^5 \times 100[(\frac{8}{1})^{\frac{0.2}{0.1}} - 1] = 24.85 \times 10^6 \text{ Joul/Hr}$$

$$N = \frac{W}{3600 \times 1000} = \frac{24.85 \times 10^6}{3600 \times 1000} = 6.9 \quad \text{(KW)}$$

كمية الحرارة المطروحة :

$$Q = M_a \cdot C_V \frac{n-k}{n-1}(t_2 - t_1)$$

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} = 300(\frac{8}{1})^{\frac{0.2}{1.2}} = 424(k^0) = 151 \ C^0$$

$$C_V = 0.723 \frac{KJ}{Kg \cdot h}$$

$$M_a = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{10^5 \times 100}{287 \times 300} = 116(\frac{Kg}{\sec})$$

ومنه :

$$Q = 116 \times 0.723 \times \frac{1.2 - 1.4}{1.2 - 1} \times (151 - 27) = -10400 \frac{KJ}{Hr}$$

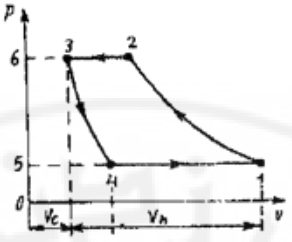
تصريف مياه التبريد :

$$M_w = \frac{10400}{13 \times 4.18} = 191 \frac{Kg}{Hr}$$

مسألة 2 :

لدينا ضاغط بمرحلة واحدة ،معامل الفراغ الميت لهذا الضاغط $C = 0.05$ ،يضغط $400 m^3/h$ هواء من الشروط العادية (ضغط $P_1=1bar$ ودرجة حرارة $t_1=20C^0$) حتى الضغط $P_2=7bar$ ،تتم كل من عمليتي الانضغاط والتمدد وفق منحني بوليتروبي حيث $n=1.3$.

احسب استطاعة محرك الضاغط والمعامل الحجمي لهذا الضاغط إذا كان مردود الضاغط الكلي والفعال $\eta = 0.7$.



الحل :

يكافئ عمل الضاغط المساحة A(1-2-3-4) والتي تساوي فرق المساحتين A(4-3-6-5) – A(1-2-6-5) إذ تكافئ كل من هاتين المساحتين بدورها عمل ضاغط مثالي (بدون فراغ ميت) أي :

$$w_O = w(1-2-6-5) - w(4-3-6-5) =$$

$$= \frac{n}{n-1} P_1 \cdot v_1 [\frac{P_2^{\frac{n-1}{n}}}{P_1} - 1] - \frac{n}{n-1} \cdot P_4 \cdot v_4 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

$$= \frac{n}{n-1} P_1 (v_1 - v_4)[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

إذا كان حجم السحب للضاغط $1m^3$ عندها يكون v_1-v_4=1 وبالتالي يحسب العمل النوعي لـ1Kg بالمعادلة :

$$w = \frac{n}{n-1} P_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

$$w = \frac{1.3}{0.3} \times 10^5 [(\frac{7}{1})^{\frac{0.3}{1.3}} - 1] = 245627 \frac{joul}{Kg}$$

استطاعة المحرك اللازم :

$$N = \frac{400 \times 245627}{3600 \times 1000 \times 0.7} = 39(KW)$$

علاقة المعامل الحجمي :

$$\lambda_C = \frac{v_1 - v_4}{v_h}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \times 293}{1 \times 10^5} = 0.84 \ m^3/Kg$$

$$v_h = v_1 - v_C$$

$$C = \frac{v_C}{v_h} \Rightarrow v_C = C \cdot v_h$$

$$v_h = v_1 - C \cdot v_h \ m^3/Kg$$

$$v_h = \frac{v_1}{1+C} = \frac{0.84}{1+0.05} = 0.8 \ m^3/Kg$$

$$v_C = v_1 - v_h = 0,84 - 0,8 = 0,04 \ m^3/Kg$$

$$v_4 = v_3 (\frac{P_3}{P_4})^{\frac{1}{n}} = v_C (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{n}} = 0.04 \times (7)^{\frac{1}{1.3}} = 0.179 \ m^3/Kg$$

ومنه :

$$\lambda_C = \frac{0.84 - 0.179}{0.8} = 0.826$$

كما يمكن حساب λ_C من العلاقة :

$$\lambda_C = 1 - C[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{n}} - 1]$$

$$= 1 - 0.05[(7)^{\frac{1}{1.3}} - 1] = 0.827$$

مسألة 3 :

لدينا ضاغط آزوت يحافظ على ضغط قدره 10 ضغط جوي في خزان آزوت مضغوط والذي يقوم بتعبئة بالونات سعة كل منها 80 ليتراً .

يقوم الضاغط بتعبئة 300 بالون في الساعة عند درجة حرارة للآزوت $60C^o$ ،على فرض أن الغاز يبرد ضمن مجمع الغاز من الدرجة $110C^0$ إلى الدرجة $60C^0$، شروط دخول الآزوت إلى الضاغط $-10C^0$ ، 1.1 ضغط جوي .

احسب عمل الضاغط واستطاعة كل من الضاغط والمحرك الكهربائي وتصريف الضاغط في الساعة .

الحل :

$$v_2 = 0.08 \times 300 = 24 \ m^3/Hr$$

تتحدد كتلة الغاز من :

$$M = \frac{P_2.v_2}{RT_2} = \frac{10\times10^5\times24}{297\times333} = 242.6Kg/hr$$

العمل اللازم في حالة الانضغاط الايزوترمي لـ 1Kg آزوت :

$$W_{iso} = M.RT_1\cdot\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$w_{iso} = 1\times297\times263\times\ln\frac{10}{1.1} = 172.4Kjoul/Kg$$

استطاعة الضاغط :

$$N_{iso} = \frac{M.w_{iso}}{3600} = \frac{242.6\times172.4}{3600} = 11.6Kw$$

إذا افترضنا أن المردود في حالة الانضغاط الإيزوترمي $\eta_{iso} = 0.65$ تحسب استطاعة المحرك الكهربائي اللازم :

$$N_E = \frac{N_{iso}}{\eta_{iso}} = \frac{11.6}{0.65} = 17.87Kw$$

العمل في حالة الانضغاط الاديباتي لـ1Kg من الآزوت :

$$w_a = \frac{K}{K-1}R\cdot T[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}} - 1]$$

$$w_a = \frac{1.4}{0.4}\times297\times263[(\frac{10}{1.1})^{\frac{0.4}{1.4}} - 1] = 240\frac{KJoul}{Kg}$$

بفرض أن مردود الضاغط في حالة الانضغاط الاديباتي $\eta_a = 0.9$ فتكون استطاعة المحرك الكهربائي اللازم :

$$N_E = \frac{240\times242.6}{3600\times0.9} = 18KW$$

من خلال معرفة درجات حرارة وضغوط الحالة البدائية والنهائية نستنتج أن الضاغط يعمل عمل انضغاط بوليتروبي إذ يمكن تحديد البوليتروب من العلاقة :

$$\frac{P_2}{P_1} = (\frac{T_2}{T_1})^{\frac{n}{n-1}}$$

أو :

$$\frac{10}{1.1} = (\frac{273+110}{273-10})^{\frac{n}{n-1}}$$

ومنه :

$$n = 1.205$$

العمل في حالة الانضغاط البوليتروبي :

$$w_P = \frac{n}{n-} R \cdot T_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

$$= \frac{1.205}{1.205-1} \times 297 \times 263 [(\frac{10}{1.1})^{\frac{0.205}{1.205}} - 1]$$

$$w_P = 209.3 \frac{Kjoul}{Kg}$$

استطاعة الضاغط :

$$N_P = \frac{209.3 \times 242.6}{3600} = 14.1 Kw$$

بفرض أن η_P في حالة الانضغاط البوليتروبي تساوي 0.8 تكون استطاعة المحرك الكهربائي اللازم :

$$N_E = \frac{14.1}{0.8} = 17.6 Kw$$

مسألة 4 :

ضاغط يتألف من مرحلة واحدة يضغط هواء ذا ضغط ابتدائي $P_1 = 1at$ ودرجة حرارة $t_1 = 20C^0$ حتى الضغط $P_2 = 4.5at$ ، قيمة أس الانضغاط البوليتروبي n =1.3 .أوجد العمل المصروف في الضاغط والحرارة المطروحة في مجموعة التبريد ،ثم قارن العمل المصروف مع العمل في حالة الانضغاط الأديباتي والايزوترمي .

الحل :

العمل في حالة الانضغاط البوليتروبي :

$$w_P = \frac{n}{n-1} P_1 \cdot v_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1]$$

$$= \frac{1.3}{0.3} \times 10^4 \times 0.856 \times [(\frac{4.5}{1})^{\frac{0.3}{1.3}} - 1] = 15392 \frac{Kgf \cdot m}{Kg}$$

إذ تم حساب v_1 من العلاقة :

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{29.27 \times 293}{1 \times 10^4} = 0.857 \ m^3/Kg$$

درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط :

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}} = 293(4.5)^{\frac{0.3}{1.3}} = 414.6K^o$$

تحسب قيمة تغير الانتالبي للجسم العامل (الهواء) نتيجة عملية الانضغاط بالعلاقة :

$$\Delta i = C_P(T_2 - T_1) = 0.24(414.6 - 293) = 29.2\frac{Kcal}{Kg}$$

كمية الحرارة المكافئة لعمل الانضغاط :

$$w_h = \frac{15392}{427} = 36\frac{Kcal}{Kg}$$

كمية الحرارة المطروحة في المبرد :

$$q = 29 - 36 = -7\frac{Kcal}{Kg}$$

حالة الانضغاط الاديباتي :

$$w_a = \frac{K}{K-1}P_1v_1[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}} - 1]$$

$$= \frac{1.4}{0.4} \times 1 \times 10^4 \times 0.856[(4.5)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1] = 16084 \text{ Kgf/m}$$

كمية الحرارة المكافئة للعمل :

$$w_h = \frac{16084}{427} = 37.7\frac{Kcal}{Kg}$$

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}} = 293(4.5)^{\frac{0.4}{1.4}} = 450.3^o K$$

$$\Delta i = C_p(T_2 - T_1) = 0.24(450.3 - 293) = 37.7\frac{Kcal}{Kg}$$

نلاحظ أن $w_h = \Delta i$ أي أن كامل العمل المبذول لتحقيق الانضغاط قد تحول إلى حرارة ضمن الغاز المضغوط :

- حالة الانضغاط الايزوترمي :

$$w_{iso} = R \cdot T_1 \cdot \ln\frac{P_2}{P_1} = 29.7 \times 293 \times \ln(\frac{4.5}{1}) = 13088 Kgf \cdot m/Kg$$

$$w_h = \frac{13088}{427} = 30.65(\frac{Kcal}{Kg})$$

$$\Delta i = 0$$

$$q = w_h = 30.65 \frac{Kcal}{Kg}$$

مسألة 5 :

نتيجة تجريب ضاغط مكبسي بمرحلة واحدة يعمل على ضغط هـواء ذي شـروط ابتدائية $P_1 = 1at$ ، $t_1 = 27°C$ حتى الضغط $P_2 = 5at$ وجد أن العمل المنفق يـساوي: $w = 23300 \frac{Kgf.m}{Kg}$ ، احسب المردود الاديباتي والايزوترمي للضاغط .

الحل :

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{29.27 \times 300}{1 \times 10} = 0.878 \ m^3/Kg$$

العمل المصروف في حالة الانضغاط الاديباتي المثالي :

$$w_a = \frac{K}{K-1} P_1 \cdot v_1 [(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{K-1}{K}} - 1]$$

$$= \frac{1.4}{0.4} \times 10^4 \times 0.878 [(\frac{5}{1})^{\frac{0.4}{1.4}} - 1] = 17940 \frac{Kgf.m}{Kg}$$

$$\eta_a = \frac{w_a}{w} = \frac{17940}{23300} = 0.77$$

العمل المصروف في حالة الانضغاط الايزوترمي :

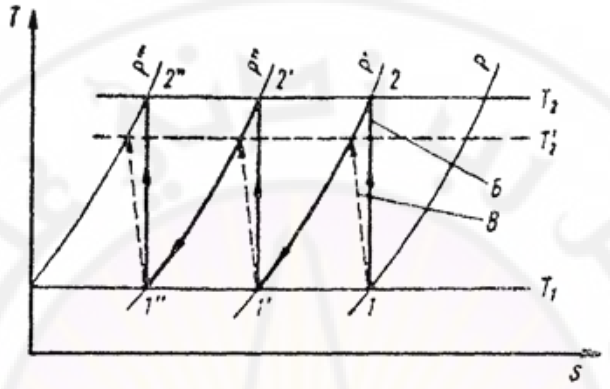
$$w_{iso} = RT_1 \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} = 29.27 \times 300 \times \ln \frac{5}{1} = 14132 \ \ Kgf \cdot m/Kg$$

$$\eta_{iso} = \frac{14132}{23300} = 0.606$$

مسألة 6 :

لدينا ضاغط مؤلف من مرحلتي انضغاط مع تبريد بيني كامل بين المـرحلتين تـتم عملية الانضغاط أديباتياً من $P_1 = 1$ at ، $t_1 = 20$ °C وحتى $P_4 = 9$ at ، حدد عمـل

الضاغط النظري وأعلى درجة حرارة للهواء في الضاغط ثم قارن النتائج التي تحصل عليها مع القيم التي تنتج فيما لو تم الانضغاط بضاغط مثالي وحيد المرحلة.



الحل :

نلاحظ من الشكل أن :

$$T_2 = T_4 \ , \quad T_1 = T_3$$

$$v_1 = \frac{R.T_1}{P_1} = \frac{29.27x293}{1x10^4} = 0.857 \quad m^3/kg$$

$$P_2 = \sqrt{P_1.P_4} = \sqrt{1x9} = 3 \quad at$$

$$w_1 = \frac{k}{k-1} P_1.v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1.4}{0.4} x1x10^4 x0.857x \left[\left(\frac{3}{1} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1 \right] = 11060 \quad kgf.m/kg$$

درجة الحرارة في نهاية عملية انضغاط المرحلة الأولى :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \left(\frac{3}{1} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 401 \quad K^o$$

الحجم النوعي في نهاية انضغاط المرحلة الأولى :

$$v_2 = \frac{R.T_2}{P_2} = \frac{29.27x401}{3x10^4} = 0.394 \qquad m^3/kg$$

الحجم النوعي في بداية انضغاط المرحلة الثانية :

$$v_3 = \frac{R.T_3}{P_2} = \frac{29.27x293}{3x10^4} = 0.2858 \qquad kg/m^3$$

عمل ضاغط المرحلة الثانية :

$$w_2 = \frac{k}{k-1} P_3.v_3 \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= 1.4/0.4 \text{ x } 3 \text{ x } 10^4 \text{ x } 0.2858 \text{ x } \left[\left(\frac{9}{3} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1 \right] = 11065 \text{ kgf.m / kg}$$

درجة حرارة الغاز في نهاية انضغاط المرحلة الثانية :

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \text{ x } (3)^{\frac{0.4}{1.4}} = 401 \qquad (K^o)$$

العمل فيما لو استعملنا ضاغط مثالياً أحادي المرحلة :

$$w = \frac{k}{k-1} P_1.v_1 \left[\left(\frac{P_4}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1.4}{0.4} \times 1 \times 10^4 \times 0.857 \times \left[\left(\frac{9}{1} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1 \right] = 26199 (Kgf.m/Kg)$$

درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط أحادية المرحلة :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_4}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \text{ x } (9)^{\frac{0.4}{1.4}} = 549 \qquad (K^o)$$

مسألة 7 :

لدينا ضاغط هوائي يسحب هواء عند ضغط 1 at ودرجة حرارة 20 ^{o}C يضغط الهواء حتى 8 at، حدد درجة حرارة الهواء في نهاية عملية الانضغاط والعمل النظري المصروف والمعامل الحجمي للضاغط :

أ- في حالة الانضغاط أحادية المرحلة .

ب- في حالة الانضغاط بمرحلتين مع تبريد كامل بينهما علماً بأن معامل الفراغ الميت $C = 8\%$.

الحل :

١ - حالة مرحلة انضغاط واحدة :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} =$$

$$= 293 \left(\frac{8}{1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 530.7 \qquad (K^{o})$$

العمل النظري :

$$w_1 = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

$$w_1 = \frac{1.4}{0.4} x287 x293 \left[(8)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1\right] = 238824 \frac{Joul}{Kg}$$

$$\lambda_v = 1 - C\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} - 1\right] = 1 - 0.08\left[8^{\frac{1}{1.4}} - 1\right]$$

$$\lambda_V = 0.726$$

٢ - حالة الانضغاط بمرحلتين :

$$P_2 = \sqrt{P_1.P_3} = \sqrt{1\times 8} = 2.828at$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 293\left(\frac{2.828}{1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$T_2 = 394K^{\circ}$$

$$w_2 = 2\frac{k}{k-1}RT_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] =$$

$$= 2\frac{1.4}{0.4}\times 287\times 293\left[\left(\frac{2.828}{1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1\right]$$

$$= 203575\frac{Joul}{Kg}$$

$$\lambda_2 = 1 - C\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} - 1\right] = 1 - 0.08\left[(2.828)^{\frac{1}{1.4}} - 1\right]$$

$$\lambda_2 = 0.912$$

مسألة 8 :

آ- لدينا بالون سعته 100 ليتر أردنا تعبئته بهواء ضغطه 50 at ودرجة حرارته 20 ^{o}C .

اختر الضاغط المناسب لملء هذا البالون على فرض أن الهواء المستعمل ذو ضغط يعادل 1 at ودرجة حرارة 20 ^{o}C وذلك في الحالتين التاليتين :

١ - إذا كان الانضغاط إيزوترمياً .

٢ - إذا كان الانضغاط أديباتياً وبفرض أن نسبة الانضغاط لاتتجاوز $\varepsilon = 4$ في أي مرحلة انضغاط وأنه يوجد تبريد بيني كامل بين مراحل الانضغاط .

احسب أيضاً كمية الحرارة المطروحة إلى المحيط الخارجي حتى نصل إلى درجة حرارة ضمن البالون مساوية 20 ^{o}C .

ب- احسب العمل الممكن الحصول عليه نتيجة تمدد الغاز الموجود ضمن البالون حتى ضغط 1 at في الحالتين عند كون الانضغاط إيزوترمياً أو أديباتياً .

حدد أخفض درجة حرارة للهواء ضمن البالون إذا قمنا بفتح الصمام وتفريغ الهواء من البالون حتى يصبح ضغط الهواء ضمن البالون مساوياً الضغط 1 at . وذلك على فتراض عدم وجود أي تبادل حراري بين الهواء الخارجي والهواء ضمن البالون .

الحل :

١ – في حالة الانضغاط الايزوترمي فإنه يستعمل ضاغط بمرحلة واحدة ومنه :

$$W_{izo} = P_1.V_1.\ln(P_2/P_1) = 1x10^5x5x\ln(50/1) = 19.56 \times 10^5 \text{ Joul}$$

إذ حسبت v_1 من العلاقة :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2 \Rightarrow V_1 = 50 \cdot 0.1 / 1 = 5 \text{ m}^3$$

٢ – في حالة الانضغاط الأديباتي :

بما أن نسبة الانضغاط تقل عن 4 نختار عدد المراحل بحيث لاتزيد نسبة الانضغاط لكل مرحلة على هذه القيمة مع الإشارة إلى أن أقل عمل مصروف للدورة يحدث عندما تكون نسبة الانضغاط متساوية لجميع المراحل أي :

$$\frac{P'}{P_1} = \frac{P''}{P'} = \frac{P_2}{P''} = \sqrt[3]{\frac{P_2}{P_1}} = \sqrt[3]{\frac{50}{1}} = 3.684 \text{ at}$$

في حالة الانضغاط الأديباتي تحسب v_1 من العلاقة :

$$v_1 = v_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} = 0.1(50)^{\frac{1}{1.4}} = 1.635 \text{m}^3$$

$$W_{ad} = 3\frac{k}{k-1}P_1.v_1\left[\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

$$W_{ad} = 3\frac{1.4}{0.4} \times 1 \times 10^5 \times 1.635\left[(3.684)^{\frac{0.4}{1.4}} - 1\right] = 7.75 \times 10^5 \, Joul$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_2 = T_1.\varepsilon^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = 293(3.684)^{\frac{0.4}{1.4}} = 425.27(k^\circ)$$

$$Q = m.C_p\,(T_2 - T_1)$$

$$m = (P_2.v_2)/(R.T_2) = (50x10^5x0.1)/(287x293) = 5.946 \text{ (kg)}$$

ومنه :

$Q = 5.946 \times 0.24 \times (425.27 - 293) = 188.7 \ kcal$

ب- العمل الناتج من التمدد الايزوترمي :

$W_{izo} = P_1.V_1 \ln(P_2/P_1) = 50 \times 10^5 \times 0.1 \times \ln 50 = 19.56 \times 10^5 \quad Joul$

الحجم في نهاية عملية التمدد :

$V_2 = (P_1.V_1)/P_2 = (50 \times 0.1)/1 = 5 \ m^3$

من أجل التغلب على الضغط الجوي الخارجي يجب صرف قدرة مقدارها :

$P_1 (v_2 - v_1) = 10^5 \times (5 - 0.1) = 490 \quad KJoul$

وبالتالي يكون العمل المفيد :

$1956 - 490 = 1466 \quad KJoul$

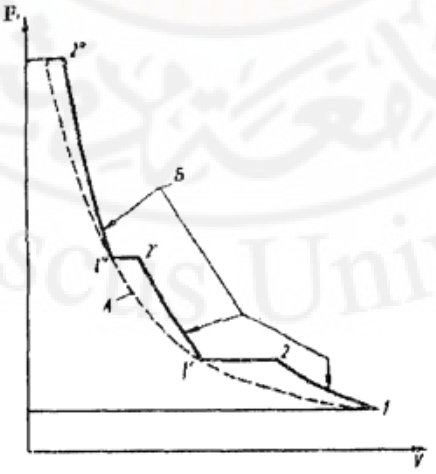
٢ - العمل الناتج من التمدد الأديباتي :

$$W_{ad} = \frac{k}{k-1} P_1.V_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$= \frac{1.4}{0.4} \times 50 \times 10^5 \times 0.1 \left[1 - \left(\frac{1}{50} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} \right]$$

$$= 11.77 \times 10^5 \ Joul$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 0.1(50)^{\frac{1}{1.4}} = 1.635 m^3$$



العمل اللازم للتغلب على الضغط الجوي الخارجي :

$$P_2 (V_2 - V_1) = 10^5 \times (1.635 - 0.1) = 1.535 \times 10^5 \text{ Joul}$$

ومنه يكون العمل المفيد :

$$(11.77 - 1.535) \times 10^5 = 10.325 \times 10^5 \text{ Joul}$$

أخفض درجة حرارة ضمن البالون يمكن أن تحصل نتيجة التمدد الأديباتي :

$$T_2 = T_1 (V_1/V_2)^{k-1}$$

$$= 293 (0.1/1.635)^{0.4} = 95.8 \text{ K}^o$$

مسألة 9 :

أوجد العمل النظري اللازم لتدوير ضاغط مؤلف من مرحلة واحدة أو ثلاث مراحل أو أربع مراحل إذا كانت شروط السحب $P_1 = 1$ at ، $T_1 = 300$ K^o ، قيمة الضغط النهائي 125 at، دليل البوليتروب لجميع المراحل $n = 1.2$.

حدد قيمة العمل من أجل حجم هواء قدره $1\ m^3$ و أوجد قيمة درجة الحرارة النهائية في حالة استعمال ضواغط مؤلفة من مرحلة واحدة أو ثلاث أو أربع مراحل.

الحل :

١ – حالة مرحلة واحدة :

$$W_p = \frac{n}{n-1} P_1 . V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$= \frac{1.2}{0.2} \times 1 \times 10^5 \left[\left(\frac{125}{1} \right)^{\frac{0.2}{1.2}} - 1 \right] = 741.6 \left(\frac{KJoul}{kg} \right)$$

درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$= 300 \left(\frac{125}{1} \right)^{\frac{0.2}{1.2}} = 670.8 k^\circ$$

٢ – حالة ضاغط ثلاثي المراحل :

تتحدد نسبة الانضغاط لكل مرحلة بالعلاقة :

$$\varepsilon = \sqrt[m]{\frac{P_m}{P_1}} = \sqrt[3]{\frac{125}{1}} = 5(at)$$

$$w = 3\frac{n}{n-1}P_1.v_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

$$= 3\times\frac{1.2}{0.2}\times 1\times 10^5\times\left[(5)^{\frac{0.2}{1.2}} - 1\right] = 553.7\left(\frac{KJoul}{kg}\right)$$

درجة الحرارة في نهاية مراحل الانضغاط :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$T_2 = 300.(5)^{\frac{0.2}{1.2}} = 392.3(k^\circ)$$

عند استبدال بالضاغط وحيد المرحلة ضاغطاً ثلاثي المراحل ينقص العمل المبذول بالمقدار :

$$\frac{741.6 - 553.7}{741.6} = 25.3\%$$

٣ – حالة استعمال ضاغط رباعي المراحل :

نسبة الانضغاط :

$$\varepsilon = \sqrt[4]{\frac{125}{1}} = 3.343(at)$$

$$w = 4\frac{n}{n-1}P_1.v_1\left[\varepsilon^{\frac{n}{n-1}} - 1\right]$$

$$w = 4\times\frac{1.2}{0.2}\times 10^5\times 1\left[3.343^{\frac{0.2}{1.2}} - 1\right]$$

$$= 534.7\left(\frac{KJoul}{kg}\right)$$

$$T_2 = 300\times 3.343^{\frac{0.2}{1.2}} = 366.8(k^\circ)$$

بمقارنة هذا العمل المصروف مع العمل المصروف في حالة ضاغط أحادي المرحلة نجد أنـــه قد وفرنا عملاً بنسبة :

$$\frac{741.6 - 534.7}{741.6} = 27.8\%$$

مسألة 10 :

أجر الحسابات الحرارية اللازمة و حدد الأبعاد الأساسية للضاغط فـــي آلـــة تبريـــد بخارية أحادية المرحلة إذاعلمت المعطيات التالية :

الإستطاعة أو الإنتاجية التبريدية عند العمل على فريون R-22 - $Q_o = 155\ KW$

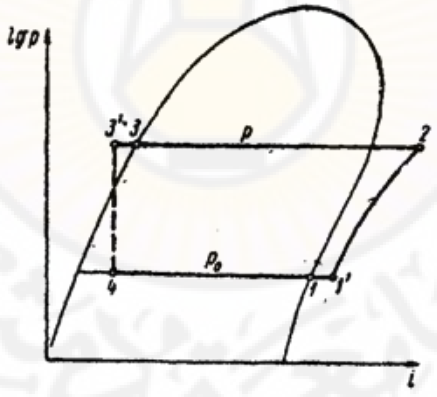
درجة حرارة الغليان $T_o = 258\ K^o$

درجة حرارة التكاثف $T_c = 303\ K^o$

درجة الحرارة بعد المكثف $T_{3'} = 298\ K^o$

الوسيط التبريدي : أمونيا، فريون12-R ، فريون R-22

الحل :



الشكل (a)

عند العمل على الأمونيا تؤخذ عادة زيادة التحميص لبخار السحب:

$\Delta T = 5\ K^o$ - $(\Delta T = T_{i'} - T_o)$.أما بالنسبة للفريون فتؤخذ : $\Delta T = 30\ K^o$ ·

يبين الجدول (2-5) قيم البارامترات المختلفة للنقاط المحددة على مخطط I - Log P وذلـــك باستعمال وسائط التبريد الثلاثة المذكورة .

الجدول (2-5)

العناصر	الوسيط التبريدي		
	أمونيا	R-12	R-22
P_0,MPa	0.2460	0.1830	0.2969
P_0,MPa	1.2000	0.7435	1.1900
i_1,KJ/Kg	1669	545.3	598.3
i_1`,KJ/Kg	1678	563.7	618.9
i_2,KJ/Kg	1915	592.2	659.7
i_3`= i_4 ,KJ/Kg	536	424.0	432.2
v_1`,M^3/Kg	0.525	0.1040	0.08862

- الإستطاعة التبريدية النوعية عند العمل على وسيط التبريد R - 22 .

$$q_o = i`_1 - i_4 = (618.9 - 432) \times 10^3 = 186900 \ J/Kg$$

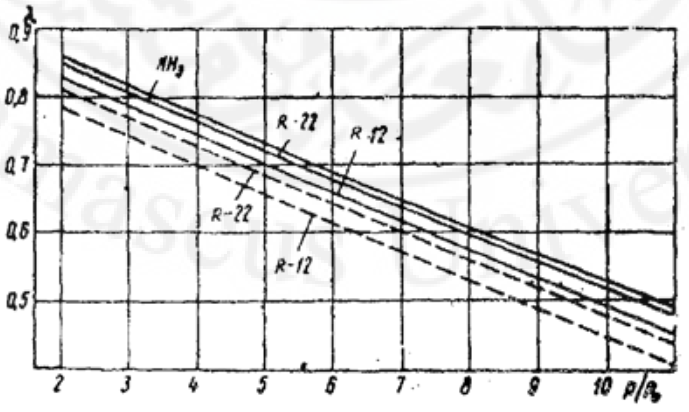
- كمية وسيط التبريد الدوارة :

$$G = Q_o/q_o = 155000 / 186900 = 0.829 \ Kg/Sec$$

- حجم السحب للضاغط :

$$V = G.v_1 = 0.829 \times 0.08862 = 0.0735 \ m^3 / Sec$$

بالنسبة للضواغط ذات الإنتاجية التبريدية المتوسطة تصل نسبة الفراغ الميت إلى 4 ..5 %.



الشكل (b)

كما يمكن التعبير عن قيم معامل التغذية تبعاً لنسبة الانضغاط وفق مخططات بيانية تجريبيـــة الشكل (b) إذ إنه عند $P/P_O = 4.94$ نجد $\lambda = 0.75$.

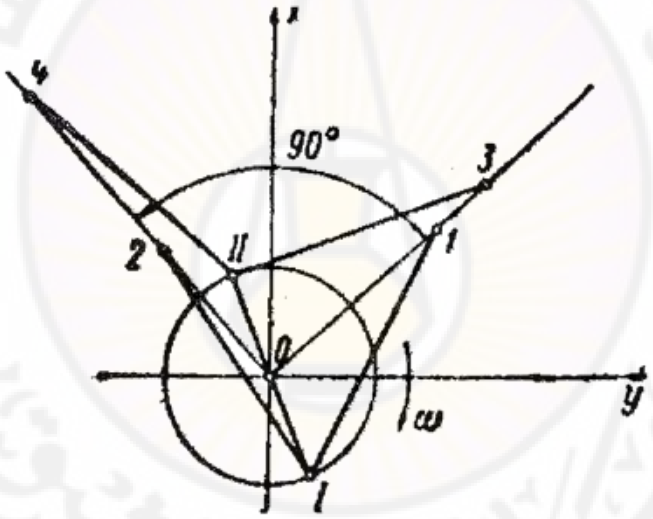
ومنه نحسب الحجم العامل للأسطوانة :

$$V_h = V / \lambda = 0.0735 / 0.75 = 0.098 \quad m^3/Sec$$

يتراوح عدد الأسطوانات في الضواغط المكبسية ضمن المجال (8 .. 2) وفي مثالنـــا هـــذا نعتمد عدد أسطوانات قدره $Z = 4$.

انطلاقاً من شرط توازن قوى العطالة من الدرجة الأولى نرى أن توضع أسطوانات الضاغط بشكل حرف V يحقق هذا الشرط ، يبين الشكل (C) المخطط الحركي لهذا الترتيب .

الشكل (C) المخطط الحركي للضاغط



يتحدد قطر أسطوانة الضاغط بالعلاقة :

$$D = 1.55\sqrt[2.25]{\frac{V_h}{k_i^{0.5}.Z}} =$$

$$= 1.55\sqrt[2.25]{\frac{0.098}{45^{0.5}\,x4}} = 0.128m \approx 0.13.n$$

إذ : $Ki = 35 .. 45$ عنصر قوى العطالة النوعية .

يتحدد شوط المكبس بالعلاقة :

$$\psi = S / D$$

تؤخذ قيمة ψ بالنسبة للضواغط ذات صمامات الدخول العلوية ضمن المجال

$$\psi = 0.6 \;..\; 0.8$$

عند اختيار قيمة ψ والقيمة الموافقة لشوط المكبس S وسرعة دوران عمود المرفق n يجب مراعاة سرعة وسطية مسموح بها للمكبس حيث :

سرعة المكبس الوسطية لآلات التبريد ذات الإنتاجية المتوسطة

$$C_m = 3 \;..\; 4 \quad m/Sec$$

ومنه نختار $\psi = 0.6$

$$S = \psi \,.\, D = 0.6 \times 0.13 = 0.078 \quad , \quad m$$

سرعة دوران محور الضاغط :

$$n = \sqrt{\frac{k_i}{3.6 x S^{1.5}}} = \sqrt{\frac{45}{3.6 x 0.078^{1.5}}} = 24 \frac{1}{Sec}$$

$$n = 1440 \quad R.P.M$$

السرعة الوسطية للمكبس :

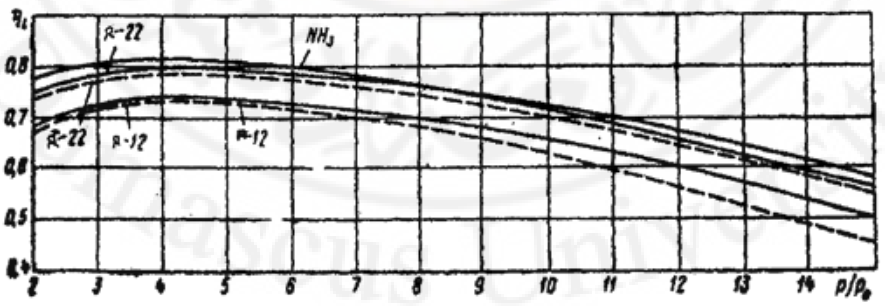
$$C_m = 2 \,.\, S \,.\, n = 2 \times 0.078 \times 24 = 3.75 \quad m/Sec$$

الحجم العامل لمجموعة المكبس :

$$V_h = (\pi \,.\, D^2 \,.\, S \,.\, n \,.\, Z) / 4 = \pi \,.\, (0.13)^2 \times 0.078 \times 24 \times 4 / 4$$

$$= 0.0994 \; m^3/Sec$$

يبين الشكل (d) العلاقة : $\eta_i = f(P/P_o)$ للضاغط عند استعمال وسائط تبريد مختلفة .



الشكل (d) $\eta_i = f(P/P_o)$

ترتب في الجدول (3-5) القيم الحسابية الأساسية للضاغط عند استعمال وسائط تبريد مختلفة .

الجدول 3-5

القيمة	الصيغة الحسابية	أمونيا	R - 12	R - 22
الاستطاعة التبريدية النوعية J/Kg	$q_o=i_1-i_4$	$(1678.0-536)10^3=$ $=1142000$	$(563.7-424)10^3=$ $=139\ 700$	$(618.9-432)10^3=$ $=186\ 900$
نسبة الانضغاط	p/p_0	4.07	4.0	4.94
معامل التغذية	λ	0.737	0.741	0.75
كمية وسيط التبريد الدوارة Kg/Sec	$\frac{\lambda V_h}{v_1}G=$	$\frac{0.737\cdot0.0993}{0.525}=0.14$	$\frac{0.741\cdot0.0993}{0.194}=0.706$	$\frac{0.75\cdot0.0993}{0.0886}=0.831$
الاستطاعة التبريدية للضاغط Q_0	$Q_0=G\cdot q_0$	$0.14\cdot1142\ 000$ $=$ $=160\ 000$	$0.706\cdot139\ 700$ $=$ $=98\ 100$	$0.831\cdot186\ 900$ $=$ $=155\ 000$
العمل النوعي الادياباتي للضاغط J/Kg	$W_a=i_2-i_1$	$(1915-1678)10^2=$ $=237\ 500$	$(592.2-563.7)10^3=$ $=28\ 500$	$(659.7-618.9)10^3=$ $=40\ 900$
الاستطاعة الادياباتية لضاغط (W)	$W_a=i_2-i_1$	$0.14\cdot237\ 000$ $=$ $33\ 190$	$0.706\cdot28\ 500-$ $20\ 000$	$0,831\cdot40\ 800-$ $34\ 000$
الأس الأدياباتي	K	1.3	1.14	1.16
ضغط الغليان الأعظمي عند (P_0) $T_0=283\ K^o$	$p_{o\ max}$	$626\cdot10^3$	$423,5\cdot10^3$	$681,4\cdot10^3$
الاستطاعة الأعظمية البيانية لضاغط (W)	$N_{i\ max}=kV_h p_{o\ max}$	$1,3\cdot0.0993\cdot626$ $.4\cdot10^3=$ $=80\ 900$	$1,14\cdot0.0993\cdot42$ $3.5\cdot10^3=47$ 800	$1,16\cdot0.0993\cdot68$ $1.4\cdot10^3=78$ 450
المردود البياني الحسابي	η_i	0.81	0.74	0.8
الاستطاعة البيانية الحسابية	$N_i=\frac{N_a}{\eta_i}$	$\frac{33190}{0.81}=41000$	$\frac{20200}{0.74}=27300$	$\frac{34000}{0.8}=42500$
ضغط الاحتكاك النوعي (P_f)	P_f	$60\cdot10^3$	$40\cdot10^3$	$40\cdot10^3$
استطاعة عمل الاحتكاك W	$N_f=p_f V_h$	$60\cdot10^3\cdot0.0993$ $=5960$	$40\cdot10^3\cdot0.0993$ $=3970$	$40\cdot10^3\cdot0.0993$ $=3970$
الاستطاعة الفعالة الحسابية W	$N_e=N_i+N_f$	$41000+5960=$ 46960	$27300+3970=$ 31270	$42500+3970=$ 46470
الاستطاعة الفعالة العظمى W	$N_{e\ max}=N_{i\ max}+N_f$	$80\ 900-5$ $960=$ $=86\ 860$	$47\ 800-3$ $970=$ $=51\ 770$	$78\ 450+3$ $970=$ $=82\ 420$
المردود الميكانيكي للضاغط	$\eta_{max}=\frac{N_i}{Ne}$	$\frac{34000}{46960}=0.826$	$\frac{27300}{31270}=0.872$	$\frac{42500}{46470}=0.915$
الفعالية التبريدية الحقيقية	$\varepsilon_c=\frac{Q_o}{N_i}$	$\frac{160000}{46960}=3.39$	$\frac{98100}{31270}=3.14$	$\frac{155000}{46470}=3.74$

12 - 1 - 5 – تأثير نوعية وسيط التبريد في أداء الضاغط المكبسي :

Effect Of Refrigerant Quality on Compressor Performance

يتحدد المجال الحراري لعمل الضاغط تبعاً لنوع وسيط التبريد العامل ، والجدول (4-5) يبين المجالات الحرارية المختلفة .

الجدول (4-5)

مجال العمل	درجة حرارة الغليان (^oC)	وسيط التبريد	درجة حرارة التكاثف العظمى (^oC)
درجة حرارة عليا	10 ÷ -15	R_{12}	70
	10 ÷ -15	R_{22}	50
	20 ÷ -5	R_{12B1}	100
درجة حرارة وسطى	-10 ÷ -25	R_{12}	70
	-10 ÷ -30	R_{22}	50
	+5 ÷ -30	R_{717}	50
درجة حرارة منخفضة	-20 ÷ -45	R_{502}	45
	-20 ÷ -55	R_{13B1}	35
	-60 ÷ -100	R_{13}	-15

ملاحظة : بالنسبة للضواغط ذات الإنتاجية الاسمية حتى 36 kw تكون درجة حرارة التكاثف الحدية عند استعمال R - 12 مساوية $55\ ^oC$.

في أحيان قليلة تستعمل وسائط تبريد أخرى غير المذكورة في الجدول أعلاه مثل البروبان والبربيلين والإيتان والإيتيلين (يستعمل الأخيران في دارات التبريد التسلسلية)، عملياً تتم صناعة الضواغط المكبسية الحديثة بحيث يمكنها العمل على مختلف وسائط التبريد وبالتالي توسيع مجالات اختيار وسيط التبريد المناسب لمجال درجات حرارة الغليان والتكاثف المطلوب.

يختلف سير العمل في الضاغط بشكل جوهري باختلاف نوعية وسيط التبريد المستعمل إذ يتعلق هذا الاختلاف بالصفات الترموديناميكية والفيزيائية للوسائط التبريدية .

وعلى سبيل المقارنة نأخذ كلاً من الفريون R - 22 و الأمونيا فنجد أن اختلاف مواصفات الضاغط بالنسبة لكل منهما ينتج عن اختلاف قيم نسبة الضغوط والأس البوليتروبي

لإجراءي الانضغاط والتمدد وبالتالي اختلاف قيمة معامل الفراغ الميت واختلاف قيمة درجة حرارة الطرد .

بمقارنة المميزات الأساسية للضاغط (الإنتاجية Q_o ومعامل التبريد ε) نرى أنه عند العمل على نسبة انضغاط $P/P_o \geq 6$ يتمتع الفريون R - 22 بأفضلية من حيث النتائج بالمقارنة مع الأمونيا بينما تتمتع الأمونيا بهذه الأفضلية في حالة كون نسبة الانضغاط $P/P_o \leq 4$.

عندما يكون مطلوباً الحصول على درجة حرارة تبخر أخفض من $-30\ ^oC$ فإنه من النادر استعمال وسيط التبريد R - 12 بسبب التخلخل الكبير من جهة سحب الضاغط إضافة إلى صغر قيمة q_o .

بمقارنة كل من الفريون R -22 و R - 502 نرى أنه يفضل استعمال الأخير ضمن مجال درجات حرارة التبخر $-30\ ^oC$ .. -25 مع التنويه إلى أن الفريون R - 502 يحقق شروط تبريد جيدة للمحرك الكهربائي .

2 - 5 – الضواغط الدورانية : Rotary Compressors

تمتاز الضواغط الدورانية عن الضواغط المكبسية بأنها أصغر حجماً ولا تحتاج لصمامات سحب وفي بعض الحالات صمامات الدفع أيضاً كما أن عدد الأجزاء المتحركة في الضواغط الدورانية أقل منه في حالة الضواغط المكبسية .

تتمثل العيوب الرئيسة لهذا النوع من الضواغط في صعوبة صناعتها وصيانتها وسرعة اهتراء الأجزاء المتحركة وبخاصة في الضواغط الدورانية المجهزة بالشفرات وصعوبة إحكام التسرب عبر الشفرات خاصة عند الضغوط العالية .

يمكن التمييز بين نوعين أساسيين للضواغط الدورانية :

- ضواغط دورانية ذات شفرات منزلقة .
- ضواغط دورانية ذات أسطوانة دوارة منزلقة .

1 - 2 - 5 – الضواغط الدورانية ذات الشفرات المنزلقة :

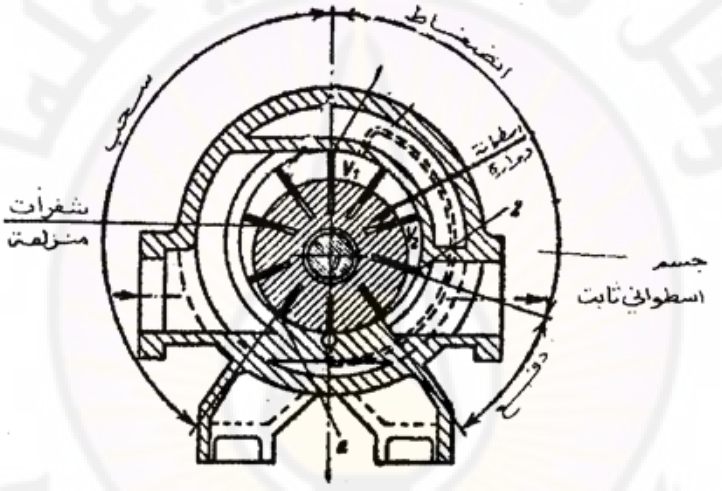
Vane Type Rotary Compressors

يبين الشكل (25 - 5) ضاغطاً دورانياً مجهزاً بشفرات منزلقة .

يتألف هذا الضاغط من أسطوانة دوارة ضمن غلاف أسطواني ثابت .

تجهز الأسطوانة الدوارة بشفرات منـزلقة تقوم أثناء دوران الأسـطوانة وتحـت تأثير القوة النابذة بالاندفاع نحو الغلاف الأسطواني وتبقى ملتصقة به إذ تتم عملية الانـضغاط على الشكل التالي : تبدأ عملية السحب عند النقطة a وتنتهي عند النقطة 1 حيث يأخذ الحجـم المتشكل بين شفرتين متتاليتين بالتناقص وبالتالي تبدأ عملية الانضغاط حتى النقطة2.

بعد تجاوز النقطة 2 يندفع البخار المضغوط إلى قناة الطـرد عبـر فتحـة الطـرد الموجودة على الغلاف الأسطواني .



الشكل (25 - 5) ضاغط دوراني ذو شفرات منـزلقة

تتميز الضواغط الدورانية عن الضواغط المكبسية بصغر حجم الفراغ الميت لدرجة أنه يمكن إهمال تأثير هذا الفراغ في الضياعات الحجمية .

تعرف نسبة الانضغاط الهندسية π_g للضواغط الدورانية على أنها نـسبة الحجـم الأعظمي للخلية (الحجم بين شفرتين) في بداية عملية الانضغاط V_1 إلـى حجـم الخليـة نفسها في نهاية عملية الانضغاط V_2 ، أي :

$$\pi_g = V_1 / V_2 \qquad (5 - 58)$$

تبقى نسبة الانضغاط الهندسية ثابتة حيث إنها ترتبط بخواص الضاغط التـصميمية فقط .

لتحديد الحجم العامل للضاغط الدوراني V_h تحسب حجم الخلية V_X ، انظر الشكل (26 - 5) ، من العلاقة :

$$V_x = \pi\left(\rho_A^2 - R_p^2\right).H.\frac{\alpha}{360} \qquad (5 - 59)$$

إذ :

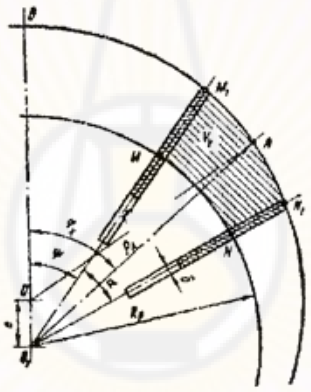
ρ_A : نصف القطر المتغير .

R_p : نصف قطر الأسطوانة الدوارة .

H : طول الأسطوانة .

α : الزاوية بين محوري شفرتين متتاليتين $\alpha = 360/Z$

Z: عدد الخلايا أو عدد الشفرات.



الشكل (26 - 5) حساب الحجم العامل

ومنه يمكن إعادة كتابة العلاقة (59 - 5) بالشكل :

$$V_x = \frac{\pi}{Z}\left(\rho_A^2 - R_p^2\right).H \qquad (5 - 60)$$

يحسب طول نصف القطر ρ_A في كل لحظة من العلاقة :

$$\rho_A^2 = R_c + e2 + 2.R_c \,.\, e \,.\, Cos\left(A\hat{0}_1 0\right) \qquad (5 - 61)$$

إذ : R_c : نصف القطر الداخلي للغلاف .

e : البعد بين محوري الأسطوانة الدوارة والغلاف .

عندما تكون النسبة e / R_c صغيرة فإنه يمكن افتراض أن :

$$\left(A\hat{O}_1O\right) = \left(A\hat{O}B\right) = \varphi_x$$

إذ : φ_X: زاوية الانضغاط .

ومنه تصبح العلاقة (61 - 5) بالشكل :

$$\rho_A^2 = R^2_c + e^2 + 2.R_c \,.\, e \,.\, \mathrm{Cos}\,\varphi_X \qquad (5 - 62)$$

بتعويض قيمة ρ_A^2 من العلاقة (62 - 5) في العلاقة (60 - 5) نحصل على :

$$V_x = \frac{2\pi \cdot H}{Z} \cdot R_c \cdot e \cdot (1 + Cos\varphi_x) \qquad (5 - 63)$$

في بداية عملية الانضغاط تكون $\varphi_X = 0$ ومنه نستنتج الحجم الأعظمي للخلية بتعويض قيمة φ_X في العلاقة (5-63) أي :

$$V_1 = 4\pi \cdot R_c \cdot H \cdot c/Z \qquad (5\text{-}64)$$

عند دورة واحدة بالمحور فإن حجم السحب يساوي :

$$V_h = Z \cdot V_1 \cdot n$$

أو :

$$V_h = 4\pi \cdot R_c \cdot H \cdot e \cdot n \qquad (5\text{-}65)$$

بالأخذ بالحسبان سماكة الشفرة تصبح العلاقة الأخيرة: $V_h = 2 \cdot H \cdot e \cdot n(2\pi R_c - Z \cdot \delta)$

إذ: n عدد الدورات في الدقيقة .

يمكن كتابة معادلة الحجم العامل عندما يكون عدد الشفرات كبيراً وفق العلاقة :

$$V_h = R_c.e.H.n\left[4\pi - \frac{\pi^3}{3}\left(1 + 2\frac{e}{R_c}\right)\frac{1}{Z^2} - 2\frac{\delta z}{R_c}\right] \qquad (5 - 67)$$

لحساب نسبة الانضغاط الهندسية π_g كتابع لزاوية الانضغاط φ_X نحسب أولاً حجم الخلية في نهاية عملية الانضغاط V_2 وذلك بتعويض القيمة $\varphi_X = \varphi_2$ في العلاقة (63 - 5) فنحصل على :

$$V_2 = \frac{2\pi.H}{Z} R_c.e\left(1 + \mathrm{Cos}\varphi_2\right)$$

بالأخذ بالحسبان العلاقتين (58 - 5) و (64 - 5) نكتب :

$$\pi_g = 2 / (1 + \mathrm{Cos}\,\varphi_2) \qquad (5 - 68)$$

منه :

$$\mathrm{Cos}\,\varphi_2 = (2/\pi_g) - 1 \qquad (5 - 69)$$

تحسب قيمة معامل التغذية للضواغط الدورانية من العلاقة :

$$\lambda = 1 - a_1 (P_2 / P_1) \qquad (5 - 70)$$

إذ $a_1 = 0.05$ للضواغط الكبيرة .

$a_1 = 0.1$ للضواغط الصغيرة .

وبالتالي يتحدد الحجم الفعلي للسحب بالعلاقة :

$$V_D = V_h \cdot \lambda \qquad (5 - 71)$$

يكتسب اختيار عدد الشفرات في الضواغط الدورانية أهمية خاصة فمع زيادة عدد الشفرات يقل الضياع الحجمي في الضاغط ويقل فرق الضغط بين خليتين متتاليتين كذلك يصغر حجم الفراغ الميت ويصبح تدفق وسيط التبريد المضغوط أكثر توازناً.

مما سبق نرى أن زيادة عدد الشفرات يحسن من أداء الضاغط بشكل عام إلا أن هذه الزيادة تؤدي إلى زيادة الضياعات الاحتكاكية .

تتبع سماكة الشفرات لنوع المادة المصنوعة منها حيث تأخذ هذه السماكة $\delta = 1 .. 3$ mm بالنسبة للشفرات الفولاذية ، أما للشفرات البلاستيكية فتؤخذ $\delta = 6 .. 12$ mm .

يتحدد العدد العملي للشفرات من العلاقة التالية :

$$Z = \pi \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{R_c}{\delta} \left(1 + 2 \frac{e}{R_c} \right)} \qquad (5 - 72)$$

عندما تكون نسبة الضغوط $\pi_m = P_2/P_1 \leq 2.5$ فإنه يؤخذ :

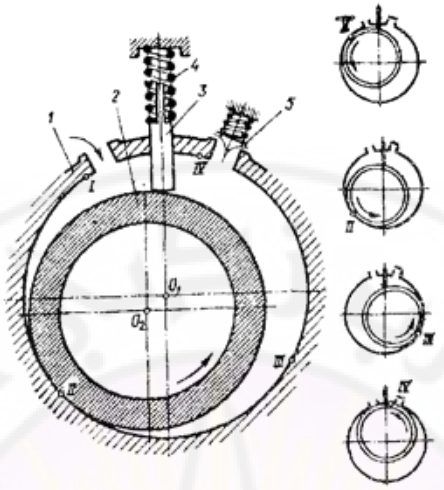
$$H/R_c = 0.27 \quad , \quad R_p/R_c = 0.86 \quad , \quad a = e/R_c = 0.14$$

أما عندما تكون $\pi_m = P_2/P_1 \leq 5$ فإن :

$$H/R_c = 0.22 \quad , \quad R_p/R_c = 0.886 , \quad a = e/R_c = 0.115$$

2 - 2 - 5 – الضواغط الدورانية ذات الأسطوانة الدوارة المنزلقة :

Rotary Compressors With Stationary Blade



الشكل (27 - 5) ضاغط دوراني ذو أسطوانة منـزلقة

يتألف الضاغط الدوراني المبين في الشكل (27 - 5) من أسطوانة ثابتة 1 يتدحرج ضمنها دوار 2 يدار بوساطة محور اكسنتريك بحيث يوجد دائماً بين الأسطوانة والدوار فراغ هلالي متغير تبعاً لزاوية دوران الدوار .

يقسم الفراغ الهلالي باستخدام شفرة 3 مدفوعة بنابض 4 إلى قسمين مستقلين تماماً يشكلان قسم السحب وقسم الدفع .

عندما يكون الدوار موجوداً في الوضعية (I) يبدأ الفراغ بين الأسطوانة والدوار بالتشكل والزيادة حيث يبدأ البخار بملء الفراغ وتبقى عملية الملء هذه مستمرة طالما ازداد حجم الفراغ إلى أن يصبح هذا الحجم أعظمياً في الوضعية (III) .

مع استمرار دوران الدوار يبدأ فراغ قسم الدفع بالتناقص وبالتالي تبدأ عملية الانضغاط .

تستمر عملية الانضغاط مع نقصان حجم فراغ قسم الدفع إلى أن يصل ضغط البخار إلى قيمة أعلى من قيمة الضغط في قناة الدفع عندها يفتح صمام الدفع 5 ويندفع البخار المضغوط إلى المكثف إذ تنتهي عملية الانضغاط عندما يصبح الدوار في الوضعية (IV) .

في هذا النوع من الضواغط تزداد كمية وسيط التبريد المتسربة من فراغ الانضغاط إلى فراغ السحب طرداً مع زيادة نسبة الانضغاط ومع نقصان عدد دورات الدوار.

إن زيادة هروب وسيط التبريد بالإضافة إلى كونها تزيد من القدرة المصروفة تزيد أيضاً من درجة حرارة وسيط التبريد أثناء عملية الانضغاط .

للتقليل من هروب وسيط التبريد هذا يعمد إلى ملء حجم الخلوص بين أجزاء الضاغط بزيت التزييت .

يتحدد الحجم العامل في هذا الضاغط بالعلاقة :

$$V_h = \frac{\pi . H}{4}\left(D_c^2 - D_p^2\right) \qquad (5 - 73)$$

إذ :

Dc: قطر الأسطوانة .

Dp: قطر الدوار .

H: طول الدوار .

كما يمكن إعطاء الحجم العامل بالعلاقة :

$$V_h = Q_o / (\lambda . q_v . n) \qquad (5 - 74)$$

إذ :

Q_o: الإنتاجية التبريدية .

q_v : الإنتاجية التبريدية الحجمية النوعية .

n : عدد الدورات .

λ: معامل التغذية .

3 - 5 -الضواغط النابذة: (التوربينية)

Centrifugal (Turbo) Compressors

بدأ استعمال الضواغط التوربينية في التبريد في الولايات المتحدة عام ١٩٢٢. تتميز الضواغط النابذة (التوربينية) بالمقارنة مع الضواغط المكبسية بالميزات التالية :

- أصغر حجماً وأقل وزناً بالمقارنة مع ضاغط مكبسي له الاستطاعة نفسها.
- سهلة البناء و أكثر أماناً.
- غياب قوى الاهتزاز الترددية .
- سهولة تنظيم تدفق البخار .
- إمكان اتصالها مباشرة مع محرك سريع الدوران (توربين بخاري أو محرك كهربائي).

- إمكان استعمالها للحصول على مجال حراري واسع يبدأ من استعمالها في تكييف الهواء و حتى $-120\ ^{o}C$:

أما سيئاتها الرئيسة فهي :

- يعّد استعمالها مجديا فقط عند الاستطاعات التبريدية الوسطى وما فوق إذ إن عامل المردود للضواغط الصغيرة من هذا النوع أقل منه بالنسبة للضواغط المكبسية.

- استعمالها يتطلب سرعة دوران عالية جداً تتراوح من 100... 30 دورة في الدقيقة وهذا يحتاج إلى بناء خاص للحصول على هذه السرعات الكبيرة .

تتألف مرحلة الضاغط النابذ من الدولاب العامل، الديفيوزر والعناصر المتحركة التي تساعد على إخراج المادة العاملة إلى خارج حدود المرحلة. تتميز المراحل من حيث التصميم إلى مراحل بينية ونهائية .في المرحلة البينية يتوضع بعد الديفيوزر جهاز توجيه خلفي، بمساعدته تقدم المادة إلى دولاب المرحلة التالية.بعد ديفيوز المرحلة الأخيرة (النهائية) يتوضع نظام خروج (غرفة تجميع أو حلزون)، يتم بمساعدته خروج المادة العاملة خارج حدود غلاف الضاغط .

الضواغط النابذة متعددة المراحل يمكن أن تتألف من مقطع واحد أو عدة مقاطع .

في الضواغط التي تملك تصريفاً كتلياً متساوياً عبر كل مرحلة ،فإن المرحلة الواحدة أو مجموعة المراحل التي يتم بعدها إخراج المادة العاملة خارج حدود غلاف الضاغط تسمى مقطعاً .

إن وجود نظام دخول وخروج في الغلاف يعّد الدليل المميز للمقطع. في الضواغط التي يتغير فيها التصريف الكتلي على قدر انضغاط المادة العاملة (مثلا في آلات التبريد البخارية) يعّد المقطع مرحلة واحدة أو عدة مراحل ذات تصريف كتلي واحد .

لندرس مخطط مقطع ثنائي المراحل لضاغط تبريد بخاري نابذ (الشكل 28-5) وإجراء التشغيل في مخططي T-s و p-i الموضح على الشكل (29-5) .تأتي المادة العاملة من المبخر إلى نظام الدخول A ،الذي يساعد على تسليمها إلى الدولاب العامل B للمرحلة الأولى البينية .قبل الدولاب يتوضع جهاز توجيه الدخول R.

مساحة مقطع نظام الدخول H يكون عادة أكبر من مساحة المقطع O عند الدخول إلى الدولاب. تترافق حركة البخار فيه بازدياد السرعة وانخفاض الضغط.انتالبي البخار في الإجراء (H-O) ينخفض. عند التوضع المحوري للريش (عند غياب تنظيم

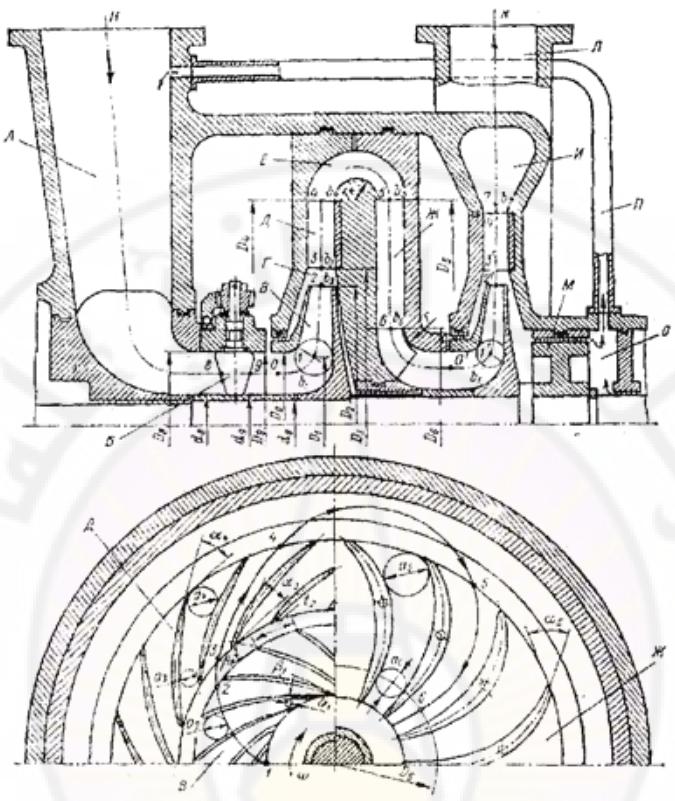
الإنتاجية) فإن السرعة في المقطعين 8 و9 تكون متساوية عملياً ويكون الإجراء (9-8) في جهاز توجيه الدخول قريباً من i= const .

إن تدوير ريش جهاز توجيه الدخول يؤدي إلى التقليل من مساحة التيار في المقطع 9 وبالتالي إلى زيادة سرعة البخار .

في الدولاب العامل B يعبر البخار جزأين مختلفين .في الجزء (1-0)لا تقدم طاقة إلى البخار وتتغير سرعته بشكل غير ملموس .الإجراء في (1-0) يكون قريباً من i=const . في المقطع 1 يدخل البخار إلى الريش العاملة التي تكسبه طاقه ميكانيكية .بنتيجة ذلك فإن ضغط وانتالبي وسرعة البخار في الجزء (2-1) جميعها تزداد .

يجب التنويه إلى أن الجزء (1-0) يعد صعباً للقياس وطبيعة الإجراء فيه مجهولة لذلك يفترضون أنه على كامل الجزء (2-0) يتم الإجراء وفق بوليتروب واحد ، وتحدد بارمترات التيار عند مدخل الريش في النقطة 1 بالحساب .

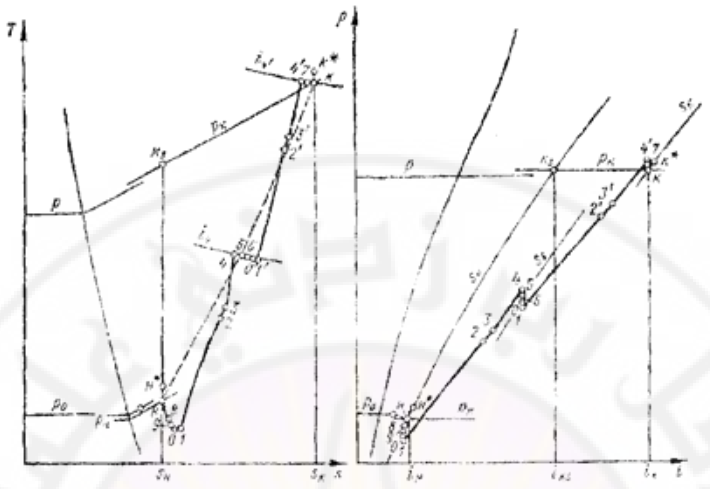
يخرج البخار المتحرك بسرعة كبيرة من الدولاب العامل ويدخل إلى ديفيوزر غير مريش Γ وبعده إلى ديفيوز مريش D . تزداد مساحة التيار في كلا الديفيورزين على قدر الحركة .وعند ذلك يزداد ضغط البخار .



الشكل (28-5):مخطط ضاغط نابذ تبريدي ثنائي المرحلة

$a_6,\ldots,a_2,a_1$ –أقطار الدوائر المماسية في مداخل ومخارج مقاطع القنوات .

يتم في الجزأين (2-3) و(3-4) تحويل الطاقة الحركية للتيار إلى طاقة ضغط ويزداد الانتالبي في هذا الإجراء .بعد الديفيوزر يعبر البخار منعطف الدولاب القطري E ويدخل إلى ريش جهاز التنظيم الخلفي s . التيار المفتول الخارج من جهاز التنظيم الخلفي يفتل بوساطة ريش تمتلك حواف خروج متوضعة وفق نصف القطر، ويسلم إلى مدخل دولاب المرحلة الثانية. حركة البخار في هذا الجزء تتم بسرعة متساوية ،لذلك فإن الإجراء على الأجزاء (4-5)،(5-6)، (6-0`) يكون قريبا منi=const. جميع الإجراءات في المرحلة تترافق بالضياعات، لذلك فإن انتروبي المادة المضغوطة يزداد بشكل مستمر .



الشكل (29-5):اجراءات الضاغط النابذ ثنائي المراحل في مخططي T-s و P-i .

الإجراءات في المرحلة الثانية والأخيرة بشكل أساسي كما في المرحلة الأولى. يدخل بعد الديفيوزر المريش البخار إلى نظام الخروج (الحلزون) h ويخرج إلى خارج حدود الضاغط عبر الفوهة N .أثناء الحركة في الحلزون تتغير السرعة بشكل غير ملموس .

عند غياب التبادل الحراري مع المصادر الحرارية الخارجية فإن العمل في المقطع يحدد في مخطط T-s بالمساحة الموافقة تحت الإجراء (H-K)، أما العمل في كل عنصر من الجريان فيحدد بالمساحة الواقعة تحت الإجراء الكائن بين النقطتين الموافقتين لمقطعي دخول العنصر وخروجه.يتوضع خلف دولاب المرحلة النهائية مكبس M لتخفيف الحمل. يتم بمساعدة هذا المكبس تقليل القوة المحورية الناتجة عن الدولابين والمنقولة إلى محامل استناد الضاغط .الحيز (O) الموجود خلف المكبس يتصل بفوهة الدخول A بوساطة الأنبوب Π. بالنتيجة فإن الضغط خلف المكبس يصبح قريبا من ضغط السحب. بما أن الضغط قبل المكبس يكون أكبر بكثير ويساوي تقريباً الضغط عند مخرج المرحلة الثانية ،لذا تظهر قوة متجهة بشكل معاكس للقوة المحورية الناتجة عن الدولابين العاملين وتخفف حمل محمل الاستناد .

يتم تقليل تسرب البخار من الدفع إلى السحب بين المراحل وعبر المكبس بمساعدة موانع خاصة .

1 - 3 - 5 -معادلة التصريف :

التصريف الكتلي بالثانية للمادة العاملة يحدد بالمعادلة :

$$G=\rho CF \qquad (5\text{-}75)$$

إذ :ρ -كثافة المادة العاملة ، C- سرعتها

F-مساحة مقطع القناة ،المتعامد مع شعاع السرعة C.

يمكن كتابة معادلة التصريف لأي مقطع من مرحلة الضاغط النابذ ذي القطر D وعرض القناة b(الشكل 30-5). وبما أن جزءاً من المقطع يمكن أن يكون مشغولاً بالريش ،لذا نكتب مساحة الدولاب الحرة لمرور المادة العاملة بالشكل :

$$F= \pi\, Db\tau$$

إذ :τ - عامل مضايقة التيار بالريش .

تتعامد مع هذا المقطع المركبة القطرية للسرعة ،أو بكلام آخر سرعة التصريف .

$$C_r = C \cdot Sin\alpha$$

وبالنتيجة نحصل على :

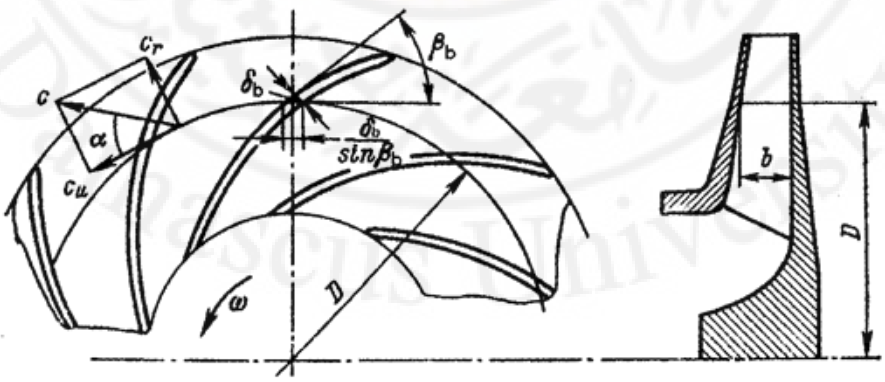
$$G = \rho C_r \pi Db\tau \qquad (5\text{-}76)$$

يعرف عامل المضايقة τ بأنه نسبة جزء مساحة المقطع الحرة لتمرير المادة العمل، على مساحة الدولاب الكاملة πDb .

$$\tau = 1\text{-}F`/(\pi Db) = 1\text{-}Z\delta_b/(\pi\, D\sin\beta) \qquad (5\text{-}77)$$

إذ : F` -الجزء من مساحة الدولاب المشغول بالريش

Z- عدد الريش ، δ_b- سماكة الريش ، β_b - زاوية ميل الخط المتوسط للريشة.



الشكل (30-5) :مخطط الدولاب العامل للضاغط النابذ

2 - 3 - 5 –معادلة عزوم كمية الحركة :

تتحدد الاستطاعة المصروفة لإزاحة وانضغاط المادة العاملة كجداء عزم التدوير $M_{p.э}$ المقدم من الريش إلى التيار بالسرعة الزاوية للدولاب .

$$N_э = M_{p.э} \cdot \omega \qquad (5\text{-}78)$$

بالتطابق مع قانون تغير عزم كمية الحركة فإن عزم التدوير النظري يساوي فرق عزوم كمية الحركة للتصريف الكتلي بالثانية للمادة العاملة G في مقطعي الخروج والدخول للدولاب. عند تحديد عزوم كمية الحركة يجب حساب المركبتين المحيطتين للسرعتين المطلقتين C1u و C2u المتعامدتين مع نصف القطر فقط (الشكل 31-5) .

وعند ذلك فإن عزم التدوير النظري يصبح كالتالي :

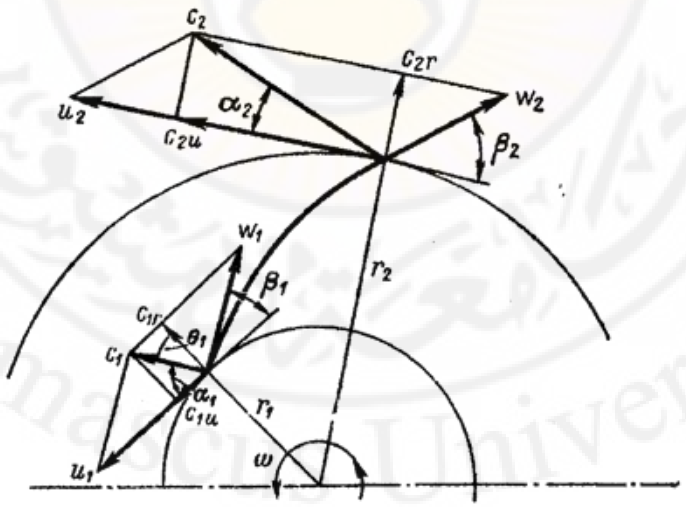
$$M_{p.э} = G(C_{2u}r_2 - C_{1u}r_1)$$

وعلى فرض أن u =ωr ،يمكن أن نكتب العلاقة (5-78) بالشكل :

$$N_э = G(C_{2u}u_2 - C_{1u}u_1)$$

أما العمل النوعي النظري :

$$w_э = N_э / G = C_{2u}u_2 - C_{1u}u_1 \qquad (5\text{-}79)$$



الشكل (31-5) :مثلثات السرعة عند الدخول والخروج من الدولاب العامل للضاغط النابذ

عند انعدام فتل التيار على مدخل الدولاب العامل، أي عندما يكون مدخل المرحلة غير مجهز بريش توجيه، فإن شعاع السرعة المطلقة C_1 يكون باتجاه نصف القطر، ويكون دخول المادة العاملة وفق منحن مواز لمحور الدولاب وبالتالي يكون مسقط شعاع السرعة المطلقة C_1 على الاتجاه المحيطي مساوياً الصفر وتأخذ المعادلة (5-79) الشكل المبسط التالي:

$$w_3 = C_{2u} u_2 \qquad (5\text{-}80)$$

عند استخراج المعادلتين (5-79) ، (5-80) حسبت فقط القيم الوسطية للسرعات المطلقة على مدخل ومخرج الدولاب. إن وجود ضياع عند حركة المادة في قنوات الدولاب أو تأثير الانضغاطية يمكن أن يؤثرا في قيمة واتجاه هذه السرعات ،ولكن المعادلات تبقى كما هي. لذلك فإن هاتين المعادلتين صالحتان في جميع الحالات عندما تكون السرعات المطلقة C1u و C2u معروفة .

غالباً تسمى المعادلة (5-79) في المراجع معادلة أويلر وهو أول من حصل عليها .

3 - 3 - 5 –البارامترات اللابعدية للضاغط النابذ :

تستخدم البارمترات بشكل واسع في حساب الضواغط النابذه .عند انضغاط مادة عاملة ما أو غيرها في مراحل متشابهة هندسياً وفي أنظمة عمل متشابهة ديناميكياً فإن البارمترات اللابعدية تكون متساوية. يعّد القطر الخارجي للدولاب العامل D_2 البعد الهندسي المميز ،والسرعة المميزة هي السرعة المحيطية للدولاب u_2 على القطر D_2 ، والكثافة المميزة هي كثافة الفرملة ρ_H^* على مدخل المرحلة .

تحدد المقاييس الهندسية اللابعدية بتقسيم المقاييس الموافقة على القطر D2. وتعطى هذه المقاييس رموز المقاييس الفعلية ،ولكن مع شحطة من الأعلى .

$$\overline{D_i} = \frac{D_i}{D_2} \quad ; \quad \overline{b_i} = \frac{b_i}{D_2} \qquad (5\text{-}81)$$

المقاس الهندسي المهم للدولاب العامل للضاغط النابذ هو العرض اللابعدي للريش عند المخرج على القطر D_2 .

$$\overline{b_2} = \frac{b_2}{D_2}$$

إن قيمة هذا المقاس اللا بعدي تتغير في مجال ضيق جداً :

$$\overline{b_2} = 0{,}08 \div 0{,}02$$

القيم الكبيرة توافق المراحل الأولى للضاغط متعدد المراحل ،أما القيم الصغيرة فتوافق المراحل الأخيرة.

تحدد السرعات الابعدية بتقسيم السرعات على السرعة المحيطية ويرمز لها بالشكل :

$$\varphi_i = {C_i}/{u_2} \; ; \; \widetilde{\varphi}_i = \frac{\omega_i}{u_i} \qquad (5\text{-}82)$$

المدّة في الأعلى ترمز للسرعات النسبية اللابعدية .

السرعات اللابعدية الأهم في نظرية الضواغط النابذة هي التي تعبر عن المعاملات التالية:

١. معامل العمل النظري :

$$\varphi_{2u} = \frac{C_{2u}}{u_2} \qquad (5\text{-}83)$$

٢. معاملا التصريف :

$$\varphi_{2r} = \frac{C_{2r}}{u_2} \quad ; \quad \varphi_0 = \frac{C_0}{u_2} \qquad (5\text{-}84)$$

في السنوات الأخيرة حاز المعامل الشرطي للتصريف الانتشار ودخل لأول مرة من أجل

المراوح في المعهد الأيروديناميكي المركزي بروسيا، وحدد كنسبة السرعة الشرطية للتيار في أنبوب قطره D_2 عند التصريف الكتلي المحدد إلى السرعة المحيطية للدولاب العامل .

$$\Phi = \frac{C_C}{u_2}$$

تحدد السرعة الشرطية حسب الكثافة الفرملية عند مدخل المرحلة :

$$C_c = 4G/(\rho^*_H \cdot \pi \cdot D^2_2)$$

بالنتيجة فإن المعامل الشرطي للتصريف يكتب بالشكل :

$$\phi_C = \frac{4G}{(\rho^*_H \pi D_2 u_2)} \qquad (5\text{-}85)$$

من المريح استخدام هذا المعامل لأجل الضواغط المتعددة المراحل ،التي يتناقص فيها عرض الدولاب من مرحلة إلى أخرى .

يعدّ الدولاب عالي التصريف عندما يكون $\Phi > 0,075$ (المراحل الأولى)، ومتوسط التصريف عندما يكون $\Phi = 0,045 \div 0,075$ (المراحل المتوسطة) ،وقليل التصريف عندما يكون $\Phi < 0,045$ (المراحل الأخيرة) .

تحدد الكثافات اللابعدية بتقسيم الكثافات في المقاطع المميزة على الكثافة الفرملية عند مدخل المرحلة ويرمز له بالشكل :

$$K_{wi} = \frac{\rho_i}{\rho_H^*} \tag{5-86}$$

إن عدد التشابه الديناميكي الغازي لتيارات المادة العاملة هو عدد ماخ ،والذي يساوي نسبة سرعة التيار في المقطع المحدد على سرعة الصوت في المادة المتحركة .

$$M_{Ci} = \frac{C_i}{a_i} \quad , \quad M_{wi} = \frac{\omega_i}{a_i} \tag{5-87}$$

إن هذا العدد المهم يحدد بنسبة سرعة انتقال الاضطراب في المادة ،الذي يحُدد بتذبذب الجزيئات، وبنسبة سرعة التيار .النظام الذي تكون فيه سرعة التيار مساوية سرعة الصوت ،أي M=1 يعدّ حرجاً ،لأنه بدءاً من هذه اللحظة يمكن أن ينتقل الاضطراب في التيار إلى الأسفل فقط .

جريان المادة عندما $M \approx 1$ يترافق عادة بالضياعات المرتبطة بالمقاومة التموجية، التي تتضح بظهور القفزات التكثيفية واللاعكوسية المرتبطة بها .

باستخدام طريقة درجات الحرارة الشرطية يمكن تحديد سرعة الصوت تقريباً :

$$a \approx \sqrt{K_c R T_c} = \sqrt{\frac{K_c p}{\rho}} \tag{5-88}$$

يحدد التشابه الديناميكي الغازي للإجراءات في مرحلة الضاغط بعدد ماخ الشرطي وفق السرعة المحيطية :

$$M_u = \frac{u_2}{a_H} = \frac{u_2}{\sqrt{k_c R T_{C\cdot H}^*}} = \frac{u_2}{\sqrt{k_c p_H^* / \rho_H^*}} \tag{5-89}$$

إنتاجية الضاغط النابذ تتصف بعدد ماخ الشرطي في مقطع الدخول :

$$M_{CH\cdot C} = \frac{C_{H\cdot C}}{a_H^*} = \frac{G}{\rho_H^* F_H \sqrt{K_C \rho_H^* P_H^*}} \tag{5-90}$$

إنتاجية المرحلة المستقلة تتصف بعدد ماخ الشرطي عند الدخول إلى الدولاب :

$$M_{ci\cdot c}=\frac{C_{i\cdot c}}{a_H^*}=\frac{G}{\rho_H^* F_i\sqrt{K_c R T_{c\cdot H}^*}}=\frac{G}{\rho_H^* F_i\sqrt{\frac{K_c p_H^*}{\rho_H^*}}} \qquad (5\text{-}91)$$

إذ : ρ_H^* ، p_H^* ، $T_{C\cdot H}^*$ –البارمترات الفرملية عند الدخول إلى الضاغط أو المرحلة ، a_H^* – سرعة الصوت في التيار المفرمل عند الدخول إلى المرحلة .

بما أنه في الصيغتين (5-90) و (5-91) تستخدم السرعات الشرطية المحددة وفق الكثافة وسرعة الصوت في التيار المفرمل عند الدخول إلى المرحلة، لذا فإن عدد ماخ الموافق يسمى عدد ماخ الشرطي .

الدليل i في العلاقات (5-81)، (5-82)، (5-86)، (5-87) يوافق دليل المقطع المميز لعنصر التيار.

4 - 3 - 5 –الدولاب العامل : Impeller

يعدّ الدولاب العامل العنصر المهم في الضاغط النابذ الذي يتم فيه نقل الطاقة الميكانيكية إلى المادة العاملة بمساعدة الريش .

يتألف الدولاب العامل المغلق من قرص أساسي ،تتوضع عليه الريش ،ومن قرص تغطية. الدواليب نصف المغطاة تنجز بدون قرص تغطية. تستخدم في الوقت الحاضر دواليب عاملة بأنواع مختلفة. الدواليب النصف قطرية (انظر الشكل 28-5) تمتلك ريشاً أسطوانية منحنية، يقع نصف قطر انحنائها في مستوي الدوران. ريش الدولاب النصف قطري ترسم عادة بنصف قطر واحد وتمتلك سماكة ثابتة. الشيء المميز لهذه الدواليب هو المدخل النصف قطري للتيار ومخرجه. تصنع الدواليب النصف قطرية عادة بشكل مغلق. وتعدّ هذه الدواليب الطراز الأساسي المستخدم في الضواغط الثابتة، بما في ذلك التبريدية .

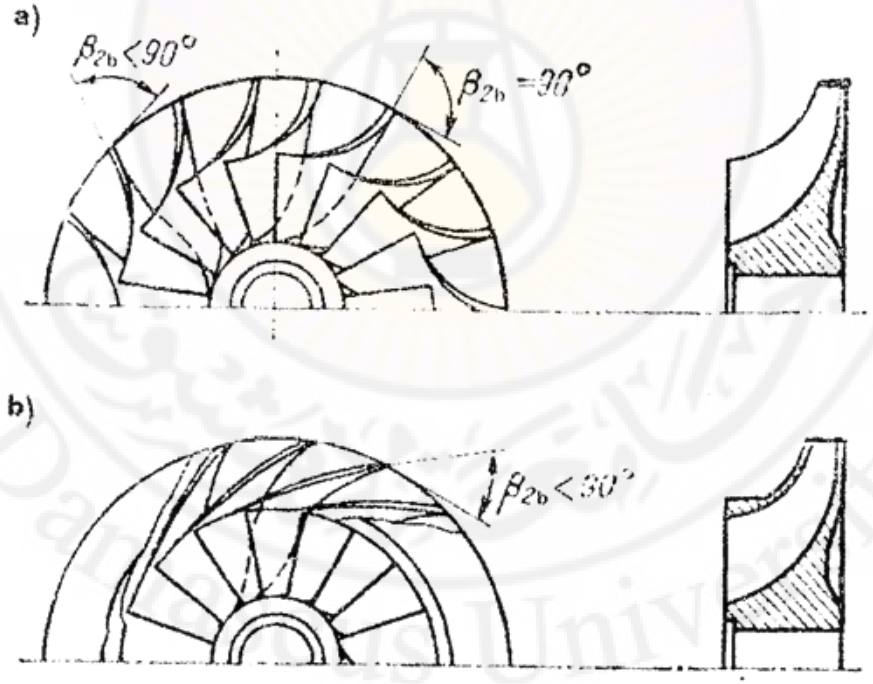
الدواليب الفراغية (الشكل 32-5) تمتلك ريشاً ذات مقطع معقد متغير على الدولاب. في ضواغط النقل لاقت الدواليب النصف قطرية المحورية انتشاراً واسعاً ،وهنا يدخل التيار في اتجاه محوري ويخرج باتجاه قطري. تنجز هذه الدواليب بشكل نصف مفتوح (الشكل 6-7a). التقنيات الحديثة للصب الدقيق واللحام تسمح أيضاً بتصنيع دواليب فراغية مغلقة (الشكل 6-7b).تسمح الدواليب الفراغية بالحصول على مراديد أكبر، وهي أقل حساسية لازدياد أعداد Mu ويمكن أن تعمل بفعالية عند معاملات تصريف Φ مرتفعة .

أهم صفة للدولاب العامل هي زاوية الريشة β_{2b} بين المماس للخط المتوسط للريشة على القطر D_2 والشعاع المعاكس للسرعة المحيطية u_2 (أنظر الشكلين5-28، 5-32) .

لندرس دولاباً عاملاً ذا عدد لا نهائي من الريش الدقيقة جداً $Z = \infty$. إن خصوصية الجريان في مثل هذا الدولاب هي تساوي زاوية التيار في الحركة النسبية وزاوية الريشة $\beta_\infty = \beta_b$ عند أي نقطة لنصف القطر ، ولذلك على مخرج الدولاب تكون $\beta_{2\infty} = \beta_{2b}$ تصنف الدواليب إلى ثلاث مجموعات :

١. ذات الريش المنحنية للخلف ($\beta_{2b}<90^o$)
٢. ذات الريش المنتهية نصف قطرياً ($\beta_{2b}=90^o$)
٣. ذات الريش المنحنية للأمام ($\beta_{2b}>90^o$)

مثلثات السرعات عند الدخول والخروج للدواليب ذات الزوايا β_{2b}المختلفة ممثلة على الشكل (33–5). مثلث الدخول متساو في جميع الدواليب.



الشكل (32-5) :أنواع الدولاب العامل

a –نصف قطري محوري نصف مغلق ، b – مغلق فراغي

شعاع السرعة المطلقة عند الدخول إلى الدولاب C_1 يحدد بإنتاجية وطبيعة الجريان في نظام الدخول أو في جهاز التوجيه الخلفي، لذلك فإن شعاع السرعة النسبية عند الدخول يكون :

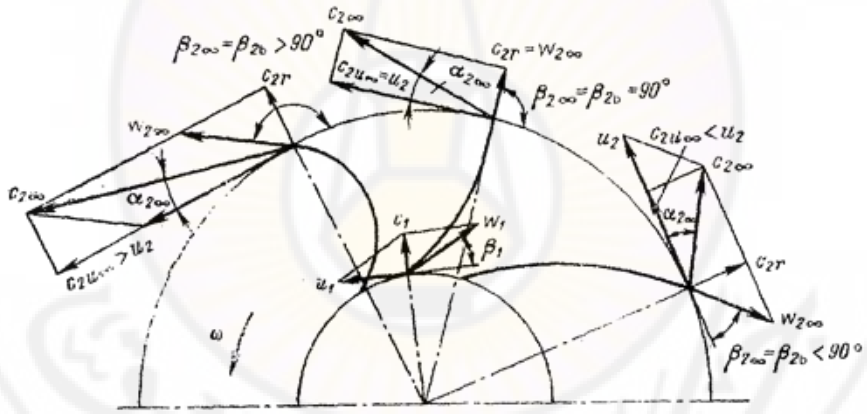
$$w_1 = C_1 - u_1$$

في حال عدم فتل التيار على مدخل الدولاب فإن الشعاع C1 يتوضع في المستوي النصف قطري ويكون مسقطه على الاتجاه المحيطي $C_{1u}=0$.والمعادلة (5-79) في هذه الحالة تأخذ شكلاً أبسط.

$$w_{2\infty} = C_{2u\infty} u_2 = \varphi_{2u\infty} u_2^2 \qquad (5\text{-}92)$$

شعاع السرعة المطلقة على مخرج الدولاب $C_{2\infty}$ هو مجموع الشعاعين المحمولين للسرعة المحيطية u_2 والسرعة النسبية $w_{2\infty}$ أي أن :

$$C_{2\infty} = u_2 + w_{2\infty}$$



الشكل (5-33) :حركة التيار في الدواليب ذات القيم المختلفة لـ β_{2b}

من مثلثات السرعة نجد أن :

$$C_{2u\infty} = u_2 - C_{2r}ctg\beta_{2л}$$

بالانتقال إلى البارامترات اللا بعدية نحصل على :

$$\varphi_{2u\infty} = 1 - \varphi_{2r}ctg\beta_{2л} \qquad (5\text{-}93)$$

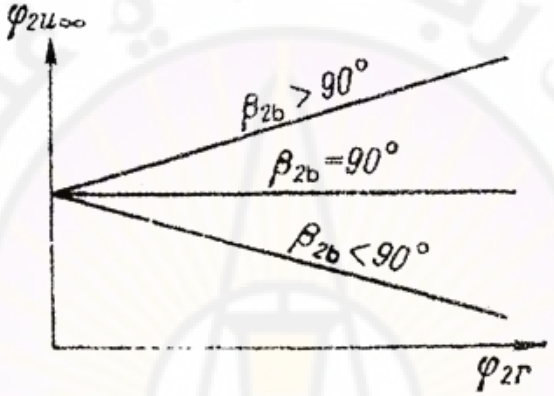
بانخفاض φ_{2r} فإنه في جميع الدواليب $\varphi_{2u\infty} \to 1$ و $W_{\infty} \to u_2^2$.

للدواليب التي يكون فيها $\beta_{2b}<90^o$ يكون دائماً $\varphi_{2u\infty} < 1$.

عند ازدياد φ_{2r} فإن معامل العمل النظري يتناقص خطياً حتى الصفر (الشكل 5-34).

الدواليب التي يكون فيها $\beta_{2b}=90^{o}$ تمتلك قيمة ثابتة $\varphi_{2u\infty}=1$ و $W_{2\infty}=u_2^2$ للدواليب التي يكون فيها $\beta_{2b}>90^{o}$ يكون دائماً $\varphi_{2u\infty}\geq 1$.

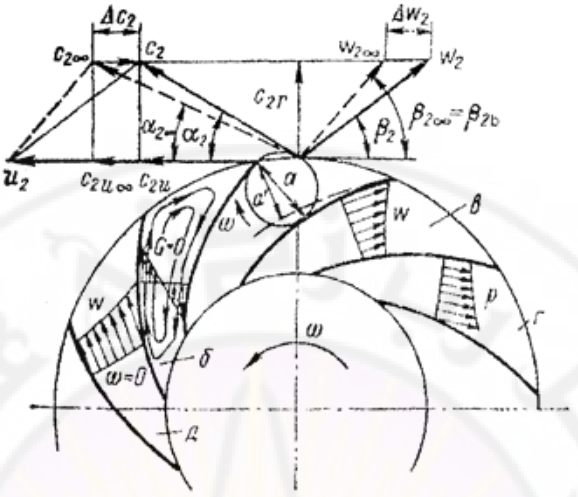
بازدياد φ_{2r} فإن القيمة $\varphi_{2u\infty}$ تزداد خطياً .المستوى العالي للسرعات المطلقة عند الخروج من هذه الدواليب يسبب ضياعات مهمة في الديفيوزر ،وبنتيجة ذلك فإن مردود المرحلة يصبح منخفضاً .



الشكل (34-5) المعاملات النظرية لعمل الدواليب عند زوايا مختلفة β_{2b}

في الحقيقة لا يمكن أن يكون عدد ريش الدولاب كبيراً بلا نهاية. هذا العدد يقع عادة في المجال ($Z=8\div28$) وتمتلك الريش سماكة نهائية محددة .

تبين التجربة أن المعامل الفعلي للعمل النظري دائماً أقل من ذلك المحسوب بالعلاقة (5-93) $\varphi_{2u}<\varphi_{2u\infty}$.وهذا يرتبط بانسلاخ التيار عن ريش الدولاب ،وبنتيجة ذلك تكون $\beta_2<\beta_{2\infty}=\beta_{2b}$.في التيار ذا العدد المتناهي من الريش يعدّ التيار ثنائي البعد وتتغير جميع بارامتراته على عرض القناة (الشكل 35-5) .



الشكل (35-5) :الجريان في الدولاب ذا العدد المتناهي من الريش

عند توقف الدولاب ($\omega=0$) ووجود بعض التصريف ($G>0$) فإن السرعة عبر القناة سوف تزداد من الجهة المقعرة للريشة إلى الجهة المحدبة. ويفسر ذلك بأنه عند الحركة وفق الخط المنحني للقناة تظهر قوة نابذة تضغط التيار إلى الجهة المقعرة .بالنتيجة فإن الضغط من الجهة المقعرة يصبح أكبر والسرعة تصبح أقل .وللسبب نفسه فإن الضغط في الجهة المحدبة يصبح أقل والسرعة أكبر .

في القناة δ للدولاب الدائر بسرعة زاوية ω ،وعند انعدام التصريف الكتلي $G=0$ يظهر في الحركة النسبية إعصار محوري (دوران المادة العاملة باتجاه معاكس للدولاب و بالسرعة الزاوية نفسها). هذا يفسر بتأثير قوة العطالة التي تحاول إعاقة كتلة المادة العاملة الموجودة في القناة عن الدوران والحفاظ على عزم كمية الحركة لها (في هذه الحالة يساوي الصفر) .

يمكن أن نحصل على حقل السرعات في الحركة النسبية في قناة الدولاب الدائر عند التصريف $G>0$ كتقريب أولي بنتيجة جمع الجريان في القناتين ∂ و δ .عند ذلك فإن السرعة النسبية عند الجهة المحدبة للريشة العاملة تكون دائماً أقل منها عند الجهة المقعرة غير العاملة ولكن الضغط أكبر (القناتين B و Γ) .لأجل حساب الضواغط النابذة من الضروري معرفة معامل العمل النظري للدولاب. من العلاقتين (78-5) و (79-5) نجد :

$$\varphi_{2u} = \frac{M_{cr\infty}\omega}{(Gu_2^2)} \qquad (5\text{-}94)$$

في الفراغ الحقيقي للجريان يتغير الضغط على سطح الريش وفق طول الريشة (أو وفق نصف القطر) وأيضاً وفق عرض الريشة ،لذلك فإن عزم الفتل ،وبمعنى آخر معامل العمل النظري للدولاب يحدد بحقل الضغط على كامل سطح الريشة .إن حساب هذا الحقل من الضغط [P=P(x,r)] يعدّ مهمة صعبة هيدروليكياً ،والتي ما زالت تُحل بشكل تقريبي ولبعض الحالات فقط .

وبالنتيجة فإن طرائق مبسطة لتقييم φ_{2u} لاقت انتشارا واسعاً، وقد عدّت الطريقة التي درسها ستودولا أبسط هذه الطرائق. أهم استخلاص لهذه الطريقة هو تبديل الإعصار المحوري الفعلي بإعصار شرطي ذي قطر a (الشكل 35-5) ،ويدور باتجاه معاكس لدوران الدولاب وبنفس السرعة الزاويةω. بنتيجة ذلك فإن دوران التيار الخارج من الدولاب بسرعة $w_{2\infty}$ ، يحصل على سرعة إضافية Δw_2 ،التي يتجه شعاعها إلى شعاع السرعة المحيطية u_2 . بالنتيجة فإن السرعة النسبية عند الخروج من الدولاب تساوي المجموع :

$$w_2 = w_{2\infty} + \Delta w_2$$

أما الزاوية β_2 فتصبح أقل من β_{2b} .من مثلث السرعات (الشكل 35-5) يتضح أن :

$$\Delta w_2 = \Delta C_2 = \Delta C_{2u} \quad \text{و} \quad C_{2u} = C_{2u\infty} - \Delta C_{2u}$$

وعندئذ :

$$\varphi_{2u} = \varphi_{2u\infty} - \frac{\Delta C_{2u}}{u_2} \qquad (5\text{-}95)$$

بفرض أنه يمكن استبدال المثلث المنحني لقسم الخروج للمقطع المائل بمثلث مستقيم وقائم الزاوية من الجهة a وبالزاوية $\beta_{2л}$ عند الرأس .نحصل على :

$$Sin\beta_{2л}\Delta C_{2u} = \omega\frac{a}{2} = \frac{\omega \cdot D_2\pi}{2Z_2}$$

بوضع هذه العلاقة في (5-95) وتبديل قيمة $\varphi_{2u\infty}$ من العلاقة (5-93) نجد :

$$\varphi_{2u} = 1 - \frac{\pi}{Z_2}\ Sin\beta_{2л} - \varphi_{2r}Ctg\beta_{2л} \qquad (5\text{-}96)$$

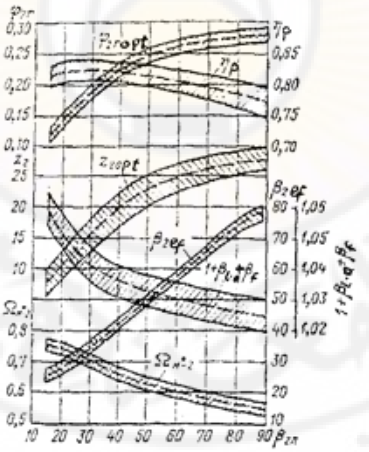
تعطي هذه العلاقة توافقاً جيداً مع التجربة للدولاب الذي يملك $\beta_{2b} \approx 45^o$.عند انخفاض β_{2b} فإن علاقة ستودولا تعطي قيمة منخفضة لـ φ_{2u} ،عند ذلك كلما قلت β_{2b} تقل القيم الحسابية لـ φ_{2u} بالمقارنة مع التجريبية. إن ذلك يفسر بالتقريب الحاصل من تبديل

المثلث المنحني للمقطع المائل بالمثلث المستقيم والذي يترافق مع أخطاء أصغر للريش المرسومة وفق حلزون لوغاريتمي، والتي يكون فيها $\beta = \beta_{2b}$ عند أي قيمة لنصف القطر .إن مثل هذا المقطع موضح على الشكل (5-35)، ويرمز لمقاس الإعصار الشرطي الموافق له بـ a`. بما أن الريشة في الحقيقية مرسومة وفق قوس المحيط وأن $\beta_{1b}$ قريبة من $30^o$ ،لذا عند القيم الصغيرة لـ $\beta_{2b}$ يصبح فعلياً المقاس a أكبر من a`. وطبقاً لذلك يصبح معامل العمل النظري أكبر. عند القيم الكبيرة $\beta_2 > 45^o$ فإن القيم الحسابية لـ φ_{2u} تصبح على العكس مبالغة بعض الشيء. هنا يظهر تأثير السماكة النهائية للريش، والتي تقلل المقاس a. للدواليب ذات القيم الكبيرة لـ β_{2b} يكون عادةً عدد الريش أكبر ويشكل (Z2=22÷28) .لذلك تعطى علاقة ستودولا (5-96) أفضل نتائج بهذه الحالة، إذا وضعنا مكان زاوية الريشة β_{2b} الزاوية الفعالة، والتي تحدد بالعلاقة :

$$\beta_{2eff} = \arcsin(a_2 / t_2) \qquad (5\text{-}97)$$

إذ a_2 – قطر الدائرة المماسية في مقطع خروج قناة الدولاب .

$t_2 = \frac{\pi D_2}{Z_2}$ – خطوة ريش الدولاب (انظر الشكل 28-5) .



الشكل (5-36) :علاقة البارامترات الأساسية لمراحل الضواغط النابذة بالزاوية β_{2b}

إذا كانت هندسة الدولاب غير معروفة مسبقاً فلتحديد β_{2eff} يمكن استخدام المنحنيات (الشكل 5-36) المنشأة لأجل الريش ذات السماكة الثابتة المرسومة وفق قوس المحيط .

5 - 3 - 5 -الاستطاعة الداخلية للمرحلة ، المردود الهيدروليكي :

الاستطاعة الداخلية المقدمة للدولاب العامل تتألف من الاستطاعة النظرية (استطاعة أويلر)، واستطاعة احتكاك السطوح الخارجية للأقراص مع المادة العاملة الموجودة في الفراغات بين الدولاب وغلاف الضاغط .

$$N_i = N_э + N_f$$

عند تحديد الاستطاعة النظرية من الضروري ملاحظة أنه عبر موانع قرص التغطية يحصل دائماً تسرب للمادة العاملة ،يعبر من جهة الضغط P2 خلف الدولاب إلى مجال ضغط الامتصاص P0 الأكثر انخفاضاً (الشكل 37-5) .

بنتيجة ذلك فإن التصريف الكتلي الفعلي عبر الدولاب يصبح أكبر بمقدار قيمة التسرب :

$$G_{P\cdot k} = G + \Delta G_k$$

يمكن إهمال تأثير التسرب في حركة التيار عند مخرج الدولاب .عند ذلك فإن الاستطاعة النظرية تصبح بالشكل :

$$N_э = (G + \Delta G_k)(C_{2u}u_2 - C_{1u}u_1)$$

بالانتقال إلى القيم اللا بعدية نجد :

$$N_э = G(1 + \frac{\Delta G_K}{G})(\varphi_{2u} - \varphi_{2u}\overline{D}_1)u_2^2 \qquad (5\text{-}98)$$

الاستطاعة الداخلية للمرحلة يمكن أن تكتب بالشكل :

$$N_i = G[1 + \frac{\Delta G_k}{G} + \frac{N_f}{G(\varphi_{2u} - \varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2}](\varphi_{2u} - \varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2$$

لنرمز للضياعات النسبية للتسرب كالتالي :

$$\beta_{l\cdot a} = \Delta G_k / G \qquad (5\text{-}99)$$

ولاحتكاك الأقراص كالتالي :

$$\beta_f = N_f / [G(\varphi_{2u} - \varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2] \qquad (5\text{-}100)$$

بعد ذلك نجد العلاقة النهائية للاستطاعة الداخلية :

$$N_i = G(1+\beta_{l\text{-}a}+\beta_f)(\varphi_{2u}-\varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2 = GXu_2^2 \qquad (5\text{-}101)$$

إذ إن البارمتر :

$$X = (1+\beta_{l\text{-}a}+\beta_f)(\varphi_{2u}-\varphi_{1u}\overline{D}_1) \qquad (5\text{-}102)$$

يسمى معامل الاستطاعة .

عند انعدام فتل التيار على مدخل الدولاب يكون :

$$X = (1+\beta_{l\text{-}a}+\beta_f)\varphi_{2a} \qquad (5\text{-}103)$$

العمل النوعي الداخلي للمرحلة يساوي :

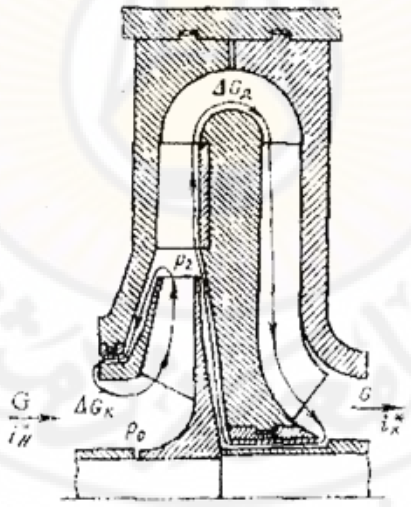
$$w_i = N_i/G = (1+\beta_{l\text{-}a}+\beta_f)(\varphi_{2u}-\varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2 = Xu_2^2 \qquad (5\text{-}104)$$

الربط بين العمل الداخلي والنظري يحدد بالعلاقة :

$$w_i = (1+\beta_{l\text{-}a}+\beta_f)w_s \qquad (5\text{-}105)$$

إذ :

$$w_s = (\varphi_{2u}-\varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2 \qquad (5\text{-}106)$$



الشكل (5-37) :التسرب في مرحلة الضاغط النابذ

من العلاقتين (5-104) و (5-106) يتضح أن كلاً من العمل الداخلي والنظري يتناسب مع مربع السرعة المحيطية .

الحرارة المكافئة للاستطاعة الداخلية للمرحلة تنقل إلى المادة المضغوطة ،لأن التبادل الحراري للمرحلة مع الوسط المحيط يهمل عادة .من هنا تحصل علاقة مهمة :

$$w_i = i_k^* - i_H^* \qquad (5\text{-}107)$$

إذ i^*_K ، i^*_H – انتالبي المادة العاملة عند مدخل ومخرج المرحلة بالتوالي.

عند حساب الضاغط يحدد الانتالبي i_k^* وفق العمل الداخلي والانتالبي i_H^* . عند معالجة نتائج التجربة لأجل تحديد العمل الداخلي يكفي قياس البارمترات الفرملية في المقاطع البدائية والنهائية للمرحلة وتحديد الانتالبيات الموافقة .

عندما تكون السرعات في المقاطع البدائية والنهائية متقاربة بالقيمة، أي $C_H = C_K$ ، يمكن أن نكتب :

$$w_i = i_k - i_H \qquad (5\text{-}108)$$

فعالية عمل المرحلة يمكن أن تحدد بمساعدة المردود البوليتروبي أو المردود الداخلي .

$$w_{eff} = w\eta_{Pol} = (1 + \beta_{l\text{-}a} + \beta_f)(\varphi_{2u} - \varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2\eta_{Pol} = Xu_2^2\eta_{Pol} \qquad (5\text{-}109)$$

هذا يعني أن المردودين الداخلي أو البوليتروبي يشملان جميع الضياعات الداخلية في المرحلة بما في ذلك ضياع التسرب واحتكاك الأقراص .

في الحسابات العملية غالباً ما يجري تحديد السرعة المحيطية للدولاب u_2 وفق معامل الاستطاعة المحدد، والمردود الداخلي، والعمل الفعال الذي يجب أن يصرف للحصول على نسبة الضغط المحددة. لأجل ذلك يستخدم معامل العمل الفعال للمرحلة :

$$\psi = w_{eff}/u_2^2 = X\eta_{Pol} \qquad (5\text{-}110)$$

قيمة معامل العمل الفعال تحدد عند دراسة مراحل نموذجية أو في عملية تجريب الضواغط كاملة المقاييس .

تقييم الضياعات المتعلقة فقط بحركة المادة العاملة في المرحلة، يمكن أن يتم بمساعدة المردود الهيدروليكي الذي يحدد بالعلاقة :

$$\eta_h = w_{eff}/w_s = w_{eff}/[(\varphi_{2u} - \varphi_{1u}\overline{D}_1)u_2^2]$$

بمقارنة هذه العالقة مع العلاقة (109) نجد أن

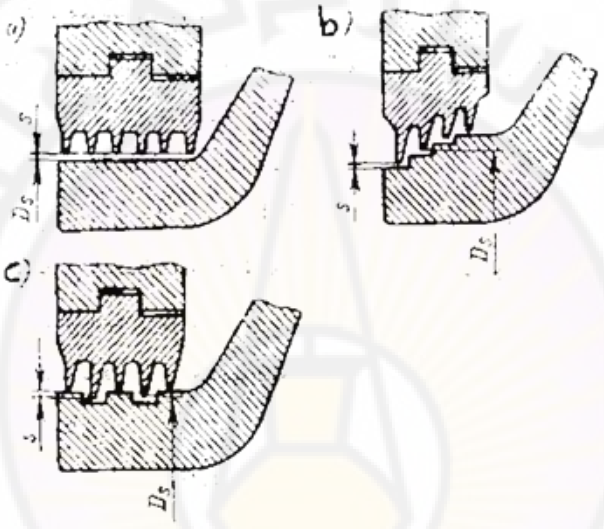
$$w_{eff} = w_i\eta_{Pol} = w_s \cdot \eta_h$$

وبالتالي يكون :

$$\eta_h = (1 + \beta_{l\text{-}a} + \beta_f)\eta_{Pol} \qquad (5\text{-}111)$$

من العلاقات الحاصلة يتضح أن دقة تحديد الضياع المرتبط بعدم اكتمال عنصر التيار للمرحلة يتعلق بدقة تحديد ضياع التسرب و الاحتكاك .

عند الدراسة التجريبية للضواغط النابذة يصعب استخلاص هذه الضياعات ،لذلك يتم حسابها.



الشكل (5-38) :أنواع الموانع

يمكن تحديد الضياعات النسبية على التسرب بالعلاقة :

$$\beta_{1a} = \frac{\Delta G_1}{G} = \frac{\alpha \bar{D}_2 \bar{S} \sqrt{0.75(1-\bar{D}_2^2)\,(ZK_{r2})}}{b_2 \tau_2 \varphi_{2r}} \qquad (5\text{-}112)$$

إذ : α –معامل التصريف عبر موانع قرص التغطية .للموانع الناعمة (الشكل 5-38،a) يكون $\alpha \approx 1$ ،للموانع المدرجة (الشكل 5-38، b،c) يكون $\alpha = 0.75$.

$\bar{D}_2 = \frac{D_1}{D_2}$ – القطر الوسطي اللا بعدي للموانع

$\bar{S} = S/D_2$ –الفرجة القطرية اللا بعدية في الموانع ،ويفضل الحفاظ على قيمتها وفق المساواة التالية :

$$\bar{S} = (2/D_2 + 4)10^{-4} \qquad (5\text{-}113)$$

إذ تؤخذ D_2 بالمتر ، Z –عدد قمم الموانع ، $K_{v2} = \rho_2 / \rho_H^*$.

تحدد الضياعات النسبية على الاحتكاك بالعلاقة :

$$\beta_f = 0.172 \cdot 10^{-3} / [\varphi_{2r} \tau_2 b_2 (\varphi_{2u} - \varphi_{1u} \overline{D}_1)] \qquad (5\text{-}114)$$

الاستنتاج التفصيلي للعلاقتين (5-112) و (5-114) موضح في مراجع خاصة .عند إجـراء الحسابات التقريبية يمكن استخدام المنحنيات الممثلة على الشكل (5-36) .

5 - 3 - 6 –تحديد مقاسات الدولاب العامل :

معادلة التصريف للمقطع الدائري عند مخرج الدولاب تأخذ الشكل :

$$G = \rho_2 C_{2r} \pi D_2 b_2 \tau_2 \qquad (5\text{-}115)$$

وبالانتقال إلى البارمترات اللا بعدية نحصل على :

$$G = \rho_H^* K_{v2} \varphi_{2r} \pi D_2^2 \overline{b}_2 \tau_2 u_2 \qquad (5\text{-}116)$$

من المنحني (الشكل 5-36) تحدد قيمة φ_{2r} المثلى وعدد الريش الأمثل Z_2 وذلك عند القيمة المحددة للزاوية β_{2b} .

معامل المضايقة τ_2 يحسب بالعلاقة (5-77)، وذلك على فرض أن السماكة النسبية الوسيطة للريشة تشكل :

$$\overline{\delta}_b = \delta_H / D_2 = 0.02 + 0.016$$

وبسبب استدارة حواف ريش الخروج يكون أكثر صحة حساب نصف الريش تقريباً .عند ذلك يصبح لدينا :

$$\tau_2 = 1 - 0.5 \overline{\delta}_b Z_2 (\pi \cdot Sin \beta_{2H}) \qquad (5\text{-}117)$$

بعد ذلك إذا كانت السرعة المحيطية معروفة من حسابات سابقة ،يمكن إيجاد D_2 بالعلاقة :

$$D_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho_H^* K_{v2} \varphi_{2r} \pi \overline{b}_2 \tau_2 u_2}} \qquad (5\text{-}118)$$

تواتر دوران الدوار :

$$n = u_2 / (\pi D_2) \qquad (5\text{-}119)$$

في الحياة العملية تظهر أحياناً ضرورة حساب مرحلة لأجل آلية إدارة محددة تضمن تواتر الدوران المطلوب. قطر الدولاب يمكن أن يحدد من المعادلة (5-119) وفـق سـرعة محيطية معروفة. بعد ذلك توجد $\overline{b}_2$ من المعادلة (5-116) . نلاحظ أنه يمكـن تحديـد $\overline{b}_2$ فوراً بالحل المشترك للمعادلتين (5-116) و (5-119) .

$$\bar{b}_2 = \pi G n^2 / (\rho_H^* K_{v2} \varphi_{2r} \tau_2 u_2^3) \qquad (5\text{-}120)$$

أكبر مراديد للمراحل حصلت عند $(\bar{b}_2 = 0.08 \div 0.02)$.يبدي قطرا مقطع الدخول للدولاب D_0 و d_0 تأثيراً ملحوظاً في المردود .ينصح أن يكون القطر اللا بعدي للحلزون في الحدود $\bar{d}_0 = 0.15 \div 0.3$. إن ازدياد $\bar{d}_0$ أكثر من 0.35 يرافقه انخفاض المردود ،وبخاصة عند القيم الصغيرة لـ $\bar{b}_2$.

تصبح الضياعات في الدولاب أقل ما يمكن عند السرعة النسبية اللابعدية الأصغرية على المدخل $\tilde{\varphi}_1 = \omega_1 / u_2$.عندما $\varphi_{1u} = 0$ ،أي بدون فتل التيار عند المدخل ،فإن القطر $\bar{D}_{0\tilde{\varphi}_{min}}$ الموافق للقيمة الأصغرية لـ $\tilde{\varphi}_1$ يمكن أن يحدد بالعلاقة :

$$\bar{D}^2_{0\tilde{\varphi}_{min}} = \bar{d}_0 + 1.26\left(\frac{4\tau_2 k_{v2} \bar{b}_2 \varphi_{2r} k_{ac}}{k_0 \tau_1 k_{v_0}}\right)^{2/3} \qquad (5\text{-}121)$$

إذ k_{ac} –معامل تسارع التيار على الجزء (1 – O)، ويحسب بالشكل التالي :

$$k_{ac} = C_1 / C_0 \approx F_0 / F_1$$

C_1 –السرعة المطلقة عند الدخول إلى الريش بدون حساب المضايقة.

F_1 –مساحة المقطع الدائري عند الدخول إلى الريش : $F_1 = \pi D_1 b_1$.

k_D –معامل ازدياد القطر: $k_D = D_1 / D_0$.

τ_2, τ_1 –معاملا المضايقة عند الدخول إلى الدولاب والخروج منه .

k_{v_0} –الكثافة اللا بعدية عند الدخول إلى الدولاب : $k_{v_0} = \rho_0 / \rho_H^*$

في التصاميم المنجزة يكون عادة $k_{ac} = 1.0 \div 1.1$ و $k_D = 1.0 \div 1.03$. القيمة المثلى لـ $\bar{D}_0$ كما تبين المعطيات التجريبية التي قام بها إيفدوكيموف تقع في الحدود التالية :

$$\bar{D}_{0opt} = (1.00 \div 1.03)\bar{D}_{0\tilde{\varphi}_{1min}}$$

عرض الريش في خط منتصف المستوي يحدد من المعادلة التصريف :

$$b_1 = G / (\rho_1 C_1 \pi D_1 \tau_1) \qquad (5\text{-}122)$$

إذ $C_1 = k_{ac} C_0$ ، $D_1 = \bar{D}_{0opt} K_D D_2$

أما معامل الإعاقة فيحدد من علاقة مشابهة للعلاقة (5-117) :

$$\tau_1 = 1\text{-}0.5\,\bar{\delta}_b Z_1 / (\pi \bar{D}_1 Sin\beta_{1л}) \qquad (5\text{-}123)$$

يستخدم أحياناً عند العدد الكبير لريش الدولاب نظام ذو طبقتين. في هذه الحالة $Z_1 = 0.5 Z_2$.

عدد ريش الدولاب Z_2 يجب أن يكون قريباً من القيمة المثالية المحددة من العلاقة :

$$Z_{2opt} = (l/t)_{opt} 2\pi \sin \beta_m / \ln(D_2 / D_1) \qquad (5\text{-}124)$$

إذ :

$\beta_m = (\beta_{1b} + \beta_{2b}/2)$ - الزاوية الوسطية للريشة

$(l/t) = 2.0 \div 3.0$.

القيم المبدئية لـ Z_{2opt} معطاة على الشكل (5-36). يتم اختيار زاوية الدخول للريشة في الحدود:

$$\beta_{1b} = \beta_1 + (0 \div 3) \qquad (5\text{-}125)$$

إذ β_1 -زاوية التيار عند الدخول إلى الدولاب في الحركة النسبية .

في الحالة العامة حيث يتم فتل التيار عند الدخول :

$$tg\beta_1 = \varphi_{1r} / (\overline{D}_1 - \varphi_{1r} tg\theta_1) \qquad (5\text{-}126)$$

المركبة القطرية اللا بعدية للسرعة عند الدخول إلى الدولاب :

$$\varphi_{1r} = G / (\rho_1 b_1 \pi D_1 \tau_1 u_2) \qquad (5\text{-}127)$$

إذ θ_1 -زاوية فتل التيار عند الدخول

عند انعدام الفتل ،أي أن $\theta_1 = 0$ ،فإن العلاقة (5-126) تأخذ شكلاً مبسطا :

$$tg\beta_1 = \varphi_{1r} / \overline{D}_1 \qquad (5\text{-}128)$$

عندما $\theta_1 = 0$ تكون $\varphi_{1r} = \varphi_1$.

يحدد عدد ماخ M_{w1} عند الدخول إلى الدولاب في الحركة النسبية وفق العلاقة (5-87) . سرعة الصوت متساوية في الحركتين المطلقة والنسبية .وهذه السرعة تحدد بالعلاقة (5-88) . العمل الفعال للدولاب يوافق $(M_{w1} \le 0.8 \div 0.9)$. إن ازدياد M_{w1} أكثر من 0.9 يؤدي إلى ازدياد الضياع في الدولاب .

معادلة التصريف عبر مقطع الدخول إلى الدولاب عند انعدام فتل التيار يمكن أن تكتب بالشكل

$$G = \rho_0 C_0 F_0 = \rho_H^* \frac{\pi k_{V_0}}{k_{ac} k_D^2} \varphi_{1r} \overline{D}_1^2 (1 - \xi^2) D_2^2 u_2$$

إذ $k_{V_0} = \rho_0 / \rho_H^*$ ، $\xi = d_0 / D_0$.

بتبديل التصريف الكتلي بهذه المعادلة بقيمته من الطرف اليميني للمعادلة (5-116) و φ_{1r} بقيمته من العلاقة (5-128) نحصل على علاقة تشيستياكوف :

$$b_2 = \frac{D^2(1-\xi^2)tg\beta_1 k_v}{4k_\beta k_{ss}\varphi_2 \tau_2} \qquad (5\text{-}129)$$

تحدد هذه العلاقة علاقة b_2 بالنسب التصميمية الأساسية للدولاب العامل ، وتبين على حساب أي من البارمترات يمكن الحصول على قيمة $\bar{b}_2$ الواقعة في المجالات المحددة .

7 - 3 - 5 – طرائق التحكم بإنتاجية الضاغط التوربيني :

يمكن أن نميز مبدأين أساسيين من أجل التحكم بالاستطاعة التبريدية :

١ – التحكم بشروط عمل الضاغط الخارجية .

٢ – التحكم ببارامترات التوربين الداخلية .

تنتسب للمجموعة الأولى طريقة تغيير ضغط البخار المسحوب أو طريقة زيادة ضغط التكاثف.

أما المجموعة الثانية فتشمل طريقة تغيير تواتر دوران الدولاب العامل أو طريقة فتل تيار البخار قبل الدخول إلى الدولاب بفتل شفرات التوجيه في الديفيوزر .

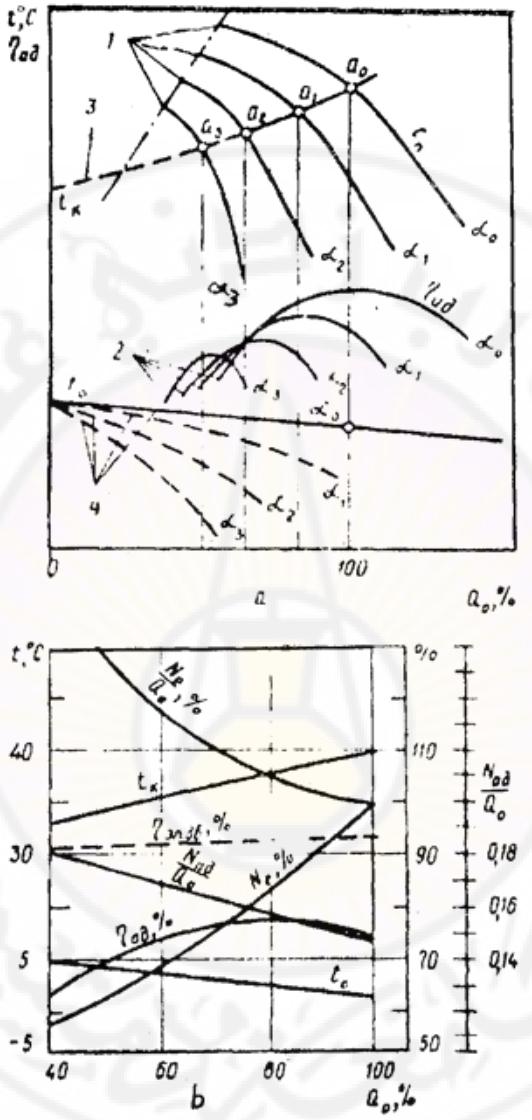
١ – تغيير ضغط البخار الممتص :

يتم في هذه الطريقة تركيب صمامات خاصة على أنابيب السحب وبالتالي تشكل مقاومة تشبه عملية الخنق مما يؤدي إلى تخفيض ضغط درجة حرارة البخار المسحوب.

يوافق انخفاض درجة حرارة السحب انخفاض الإنتاجية التبريدية وغالباً ما تستعمل هذه الطريقة في الضواغط المتعددة المراحل .

٢ – زيادة ضغط التكاثف :

يتم في هذه الطريقة تقليل كمية مياه التبريد اللازمة للتبريد المكثف مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة التكاثف وبالتالي ضغط التكاثف انظر الشكل (39 - 5). يوافق ارتفاع درجة حرارة التكاثف تغير نقطة العمل على المنحنيات المميزة لأداء الضاغط باتجاه انخفاض الإنتاجية التبريدية مع ملاحظة أنه تزداد لدينا قيمة الاستطاعة المستهلكة مما يجعل هذه الطريقة في التحكم غير اقتصادية . لذلك يقتصر استعمال هذه الطريقة فقط في الحالات التي يتطلب فيها توفير كميات مياه التبريد .



الشكل (39 - 5) المنحنيات المميزة لأداء الضاغط عند تغيير السحب

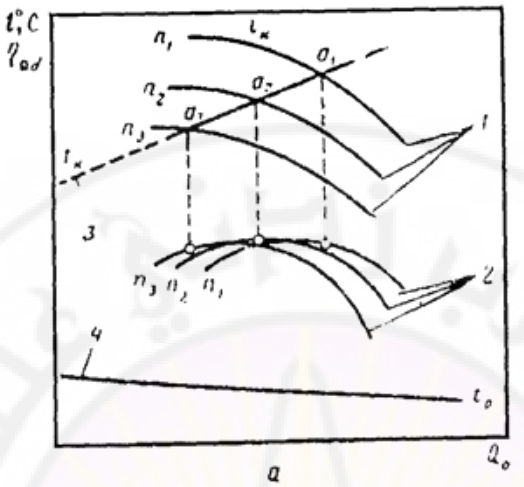
a – لعناصر مستقلة لآلة التبريد ذات الضاغط التوربيني

1 - 2 : للضاغط عند وضعيات مختلفة لشق التمدد المحددة بالزاوية .

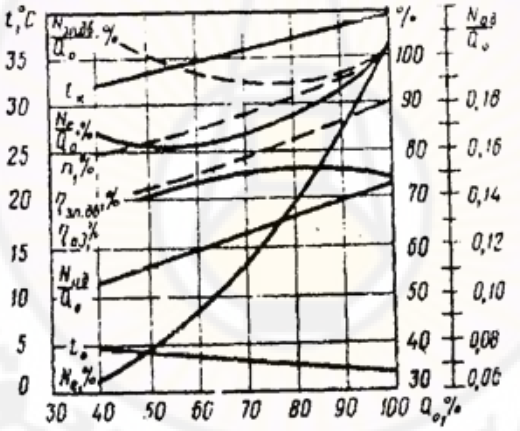
3 : للمكثف 4 : للمبخر

a_1,a_2,a_3 : النقاط العاملة .

b – لآلة التبريد في النقاط العاملة .



a



الشكل (40 - 5) مميزات الأداء عند تغيير سرعة الدوران

a – لعناصر مستقلة لآلة التبريد ذات الضاغط التوربيني

1 - 2: للضاغط عند سرعات مختلفة 3 : للمكثف

4 : للمبخر a_1,a_2,a_3 : النقاط العاملة .

b – لآلة التبريد في النقاط العاملة .

٣ - طريقة تغيير سرعة دوران الضاغط :

يمكننا عند وجود علبة سرعة متصلة بالتوربين تخفيض الإنتاجية التبريدية بتخفيض سرعة دوران الضاغط حيث تتغير عندها جميع المواصفات القياسية لجميع المراحل نتيجة تخفيض u_2 انظر الشكل (40 - 5) .

تعدّ هذه الطريقة في تعيير الإنتاجية فعالة حيث إن المردود الوسطي للمرحلة يتغير بشكل ضئيل.

٤ - فتل تيار البخار قبل الدخول إلى الدولاب :

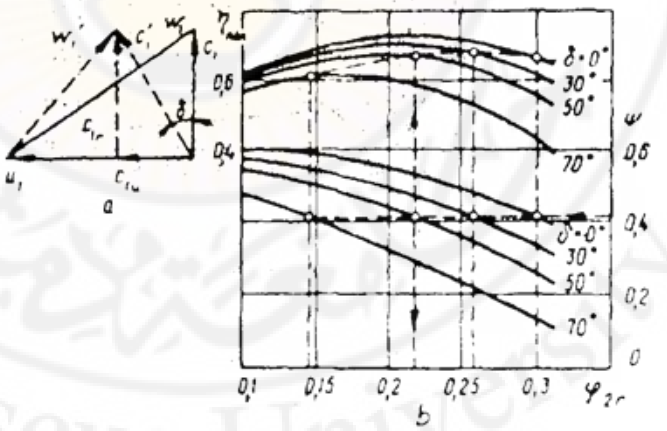
يتم تحقيق فتل تيار البخار قبل الدخول إلى الدولاب بتغيير اتجاه شفرات التوجيه المركبة على المدخل .

عند فتل التيار تصبح معادلة أويلر على الشكل :

$$W = u_2.C_{2u} - u_1.C_{1u}$$

بما أن السرعة C_{1u} تتناسب طردا مع ظل زاوية الفتل δ للتيار عن الاتجاه القطري (انظر الشكل a, 41-5) فإنه عندما تكون الزاوية δ موجبة (الانحراف في اتجاه دوران الدولاب) تنخفض قيمة ضغط السحب وعندما تكون δ سالبة فإن الضغط يزداد .

يبين الشكل (41-5) تأثير فتل التيار قبل الدخول إلى الدولاب .



الشكل (41 - 5) تأثير فتل التيار .

a على شكل مثلث السرعات عند $\varphi_{2r} = Const$

b على مميزات المرحلة عند $\beta_2 = 45^o$ ، $M_u = 1.12$.

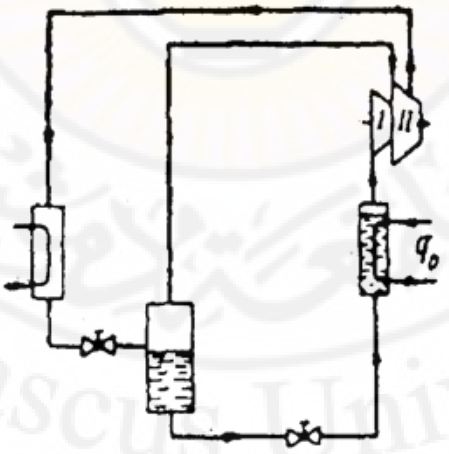
نلاحظ أن عملية فتل التيار هذه تغير من مواصفات أداء المرحلة التي وضع على مدخلها جهاز التوجيه و لا يؤثر في المرحلة التي تليها لذا تعدّ هذه الطريقة صالحة فقط للضواغط ذات المرحلة الواحدة .

تجدر الإشارة إلى أن طريقة تنظيم الإنتاجية هذه تعدّ الطريقة الأساسية المتبعة في تعيير إنتاجية الضواغط النابذة من حيث إنها طريقة اقتصادية بالإضافة إلى بساطة جهاز التوجيه المستعمل .

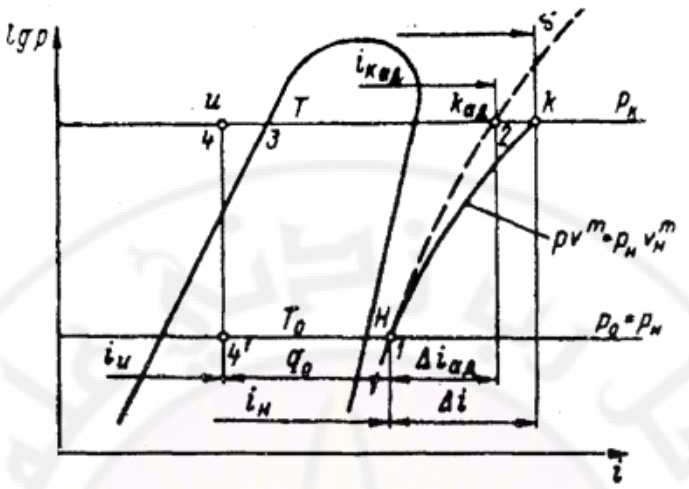
مسألة :

أجر الحسابات الديناميكية اللازمة لضاغط توربيني يخدم آلة تبريد بخارية بمرحلة واحدة أو بمرحلتين فيما إذا علمت المعطيات الأساسية التالية :

- الإنتاجية التبريدية للآلة $Q_o = 1.39$ M.W
- درجة حرارة الغليان : $T_o = 263$ K^o مع وجود زيادة تحميص مقداره $10\ ^oC$
- درجة حرارة التكاثف : $T_c = 298$ K^o مع وجود زيادة تبريد في المكثف حتى 293 K^o .
- وسيط التبريد : R - 12



الشكل (a) : المخطط الرمزي لآلة التبريد



الشكل (b) : تمثيل عمل الآلة على مخطط (i - Log p)

الحل :

- الاستطاعة التبريدية النوعية لوسيط التبريد :

$$q_O = i_1 - i_4 = 576 - 439 = 137 \quad KJ / Kg$$

- التدفق الكتلي لوسيط التبريد :

$$G_a = Q_o / q_o = 1.39 \times 10^3 / 137 = 10.2 \quad Kg / Sec$$

نرتب مقاسات النقاط الأساسية للدورة في الجدول التالي :

المقاسات	النقاط				
	1	2	3	4	4`
P, MP_a	0.219	0.651	0.651	0.651	0.219
T, K	273	-	298	293	263
i, KJ/Kg	576.0	596.5	-	439.0	439.0
v, m^3/Kg	0.082	0.0307	-	-	-

- الإنتاج الحجمي للضاغط :

$$V_d = G_a \cdot v_1 = 10.2 \times 0.082 = 0.833 \ m^3 / Sec$$

- عامل المردود الأديباتي والاستطاعة الداخلية للضاغط :

من أجل حساب المردود الأديباتي للضاغط نستعمل الجدول (5-5) الذي يبين قيماً وسطية للمردود البوليتروبي عند زوايا خروج مختلفة وقيمة ثابتة لـ $M_u = 0.8$.

الجدول 5-5

$\beta_{2,...}{}^{o}$	$\varphi_{2r.opt}$	Z_2	$1+\beta_r+\beta_{a\cdot L}$	$\eta_{p\cdot opt}$
15	0.08 - 0.12	6-8	1.1	0.82-0.84
22.5	0.14 - 0.16	9-11	1.06	0.82-0.85
32	0.16 - 0.18	12-16	1.05	0.81-0.85
45	0.22 - 0.26	20-24	1.04	0.81-0.85
60	0.26 - 0.30	24-26	1.03	0.80-0.84
90	0.28 - 0.34	26-30	1.02	0.79-0.82

تطابق القيم الصغرى لـ η_p قيم كبيرة لـ M_u أما القيم العظمى لـ η_p تناسب القيمة $M_u = 0.7$.

باختيارنا زاوية الخروج $\beta_2 = 32$ نجد من الجدول أن $\eta_p = 0.81$.

- نسبة ارتفاع الضغط تتحدد بـ :

$$\pi_k = \frac{P_k}{P_{H}} = \frac{0.651}{0.219} = 2.98$$

- عامل تغير الحجم النوعي عند عملية الانضغاط الأديباتية :

$$K_{vad} = \frac{v_H}{v_k} = \frac{0.082}{0.0307} = 2.67$$

يحسب أس الانضغاط الأديباتي من العلاقة :

$$K = \frac{\log(\pi.k)}{\log(K_{vad})} = \frac{\log(2.98)}{\log(2.67)} = 1.111$$

- المردود الأديباتي للضاغط :

$$\eta_{ad} = \frac{\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\pi_k^{\frac{k-1}{k\eta_i}} - 1} = \frac{2.98^{\frac{1.111-1}{1.111}} - 1}{2.98^{\frac{1.111-1}{1.111\times0.78}} - 1} = 0.798$$

- العمل الأديباتي النوعي :

$$w_{ad} = i_{kad} - i_H = 596.5 - 576 = 20.6 \quad KJ / Kg$$

- العمل النوعي للدولاب :

$$w = \Lambda_i = w_{ad} / \eta_{ad} = 20.5 / 0.798 = 25.7 \quad KJ / Kg$$

- استطاعة الضاغط الداخلية :

$$N_i = G_a . w = 10.2 \times 25.7 = 262 \quad KW$$

- عامل التبريد :

$$\varepsilon = q_o / w = 137 / 25.7 = 5.33$$

- رسم منحني إجراء الانضغاط البوليتروبي في الضاغط :

- الانتالبي في نهاية إجراء الضغط البوليتروبي :

$$i_k = i_H + \Lambda_i = 576 + 25.7 = 601.7 \quad KJ / Kg$$

- الحجم النوعي الفعلي في نهاية إجراء الضغط البوليتروبي من المخطط :

$$v_k = 0.318 \quad m^3 / Kg$$

تغير الحجم النوعي في الضاغط :

$$K_v = v_H / v_k = 0.082 / 0.0318 = 2.58$$

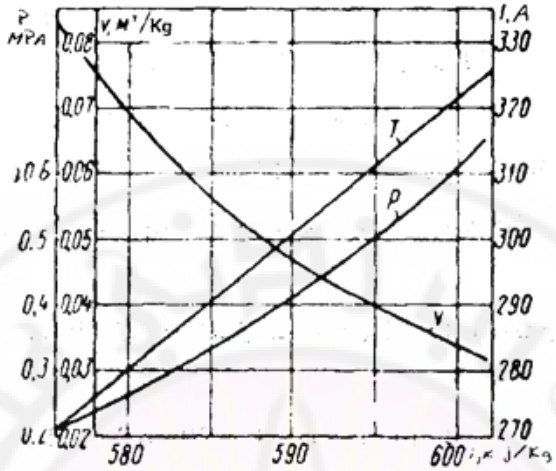
- الدليل (الأس) البوليتروبي :

$$m = \log\pi_K / \log K_V = \frac{\log 2.98}{\log 2.58} = 0.474 / 0.411 = 1.155$$

- يتم ضغط البخار وفق إجراء بوليتروبي يتحدد بالعلاقة :

$$P = P_H (v_H / v)^m$$

نقوم بإعطاء قيم اختيارية للنسبة (v_H / v) ضمن المجال (1 .. 2.58) حيث نحسب قيم P الموافقة من العلاقة السابقة.



الشكل (d) تغير بارامترات البخار في الدولاب الدوار للضاغط التوربيني عند الانضغاط البوليتروبي.

بعد الحصول على مجموعة قيم لـ P الموافقة لـ v بمساعدة مخطط وسيط التبريد قيم i الموافقة لكل ثنائية (P , v). نرتب القيم الناتجة في الجدول (6-5) :

الجدول (6-5)

v_H/v	$Lg(v_H/v)$	$m \cdot lg(v_H/v)$	$(v_H/v)^m$	P, MPa	v, M^3/Kg	i, KJ/Kg	T,K
1.0	0	0	1.0	0.219	0.082	576	273
1.2	0.079	0.0912	1.234	0.270	0.0673	580.6	281
1.4	0.146	0.1685	1.474	0.323	0.0586	584	288
1.6	0.204	0.2355	1.721	0.377	0.0512	587.5	295
1.8	0.255	0.2945	1.970	0.430	0.0456	591	303
2.0	0.301	0.348	2.228	0.488	0.0410	594.5	310
2.2	0.342	0.393	2.475	0.542	0.0373	597	315
2.4	0.380	0.439	2.75	0.601	0.0341	599.5	320
2.58	-	-	-	0.651	0.0318	601.7	324

بالاستعانة بالجدول (6-5) نمثل العلاقات :

$T = f_1(i)$ ، $P = f_2(i)$ ، $v = f_3(i)$ بيانياً بالشكل (d) .

السرعة المحيطية وعدد المراحل و الأبعاد الرئيسة للدواليب العاملة الدوارة.

يتحدد عدد المراحل X في الضاغط التوربيني بالعلاقة :

$$X = \frac{\theta}{2k.M_u^2.\eta_{ad}.\varphi_{u2}\left(1+\beta_f+\beta_{l.a}\right)}.\frac{T_s}{T_o}.\frac{T_k - T_o}{T_k}$$

إذ : T_s : درجة حرارة الغليان الطبيعية لوسيط التبريد .

θ : عدد تروتون ويساوي بالنسبة لغالبية وسائط التبريد إلى $\theta \approx 20$

φ_{u2} و $(1+\beta_f+\beta_{l.a})$ قيم تعتمد على الزاوية β_2 ونأخذها من الجدول (5-5) .

يمكن تبسيط المعادلة الأخيرة بإهمال النسبة (T_S / T_O) لأنها قريبة من الواحد (في الحالة المدروسة) .

كما أن : $\zeta_{ad} = \varphi_{u2} = (1+\beta_r+\beta_{l.a}) = 0.5 \ , \ \theta = 20 \ , \ K{\cdot}M^2{}_u = 1$

وبالتالي :

$$X = (T_k - T_o) / 15 = (298 - 263) / 15 = 2$$

من الجدول وعند $\beta = 32^o$ نأخذ : $\varphi_{r2} = 0.18$

$1+\beta_f+\beta_{l.a} = 1.05$ $\qquad$ $Z_2 = 16$

4 - 5 – الضواغط الحلزونية: (اللولبية) Screw Compressors

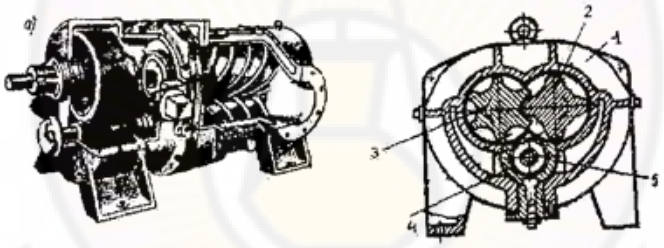
يعدّ العمود الحلزوني الدوار العضو الفعال الأساسي بالنسبة لهذا النوع من الضواغط.

يمكن أن يوجد ضمن الضاغط الواحد عمود واحد أو عمودين أو ثلاثة ، وتبعاً لطريقة تصميم تجويف أو حيز الضغط يمكن تقسيم الضواغط الحلزونية إلى ضواغط جافة وضواغط رطبة (مملوءة بالزيت) وبشكل عام يستعمل في صناعة التبريد الضواغط الحلزونية الرطبة ذات العمودين الدوارين.

يتألف الضاغط الحلزوني ذو العمودين الدوارين – الشكل (42 - 5) – من الأجزاء الرئيسية التالية :

١ – الهيكل . ٢،٣ – العمود الدوار . ٤ – رولمانات قاعدية وارتكازية .

٥ – آلية نقل الحركة لمنظم الإنتاجية .

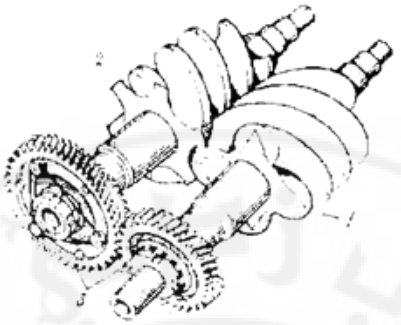


الشكل (42 - 5) ضاغط لولبي مجهز بعمودين دوارين

يتألف القلب اللولبي الدوار من مسنن أسطواني ذي أسنان مائلة وذات مقطع خاص، وفي حالة احتواء الضاغط على لولبين من هذا النوع فإنه يحدث أثناء الدوران تزاوج أسنان اللولبين بدون فراغات.

يحتوي اللولب القائد (الرئيس) على أربعة أسنان لولبية بينما يحتوي اللولب المقود (الثانوي) ست أسنان وذلك عند تساوي الأقطار الخارجية لهما .

في الضاغط اللولبي تتوضع فتحات الامتصاص والطرد بشكل قطري بالنسبة لبعضها بعضاً تشتمل الدارة الفعلية للضاغط اللولبي أربعة أشواط هي : الامتصاص – النقل – الانضغاط – الطرد .



الشكل (43-5) :دواري الضاغط الحلزوني
١-دوار قائد بأربعة أسنان ٢-دوار مقود بستة أسنان
٣-مسنني الربط

الامتصاص :

يدخل الغاز من فتحة الامتصاص ليملأ التجاويف الواقعة بين الأسنان إذ تستمر عملية الامتصاص هذه أثناء دوران المحورين اللولبيين إلى أن تتعشق حواف أسنان المحورين الرئيس والثانوي – انظر الشكل (43 - 5) .

يسمى التجويف الواقع بين أسنان المحورين الرئيس والثانوي التجويف الزوجي .

النقل :

عند دوران المحورين الرئيس والثانوي ينتقل الغاز في الحجم المغلق للتجويف الزوجي باتجاه فتحة الطرد بدون حدوث أي تغيير للحجم النوعي للغاز .

الضغط :

عند اقتراب الغاز من فتحة الطرد يأخذ الضغط بالارتفاع على حساب تناقص الحجم المغلق للتجويف الزوجي .

الطرد :

يتم طرد الغاز المضغوط بالإضافة إلى الزيت عند نهاية عملية الضغط حيث ينفرج السنين المتعشقين للمحورين الرئيس والثانوي عند فتحة الطرد مباشرة مما يؤدي إلى انفلات الغاز المضغوط إلى ماسورة الضغط .

يتم أثناء عمل الضاغط اللولبي حقن الزيت المبرد ضمن الهيكل إذ يملأ الزيت جميع التجاويف (الشقوق) الموجودة بين المحورين الدوارين والهيكل من جهة وبين المحورين الدوارين من جهة أخرى مما يؤدي إلى زيادة إنتاجية الضاغط على حساب تخفيض درجة حرارة الغاز بشكل كبير بما يسمح بتبسيط تصميم الضاغط بتخفيض سرعة الدوران إضافة إلى تخفيض مستوى الضجيج وزيادة نسبة الانضغاط المسموح بها وإطالة عمر الضاغط.

تتميز الضواغط اللولبية عن الضواغط المكبسية والضواغط الطاردة المركزية بأنه لا توجد حاجة في الضواغط اللولبية لصمامات امتصاص أو طرد أو أي أجزاء متحركة حركة ترددية كما تنعدم السطوح الاحتكاكية مما يؤدي إلى زيادة المردود وتخفيض أعمال الصيانة اللازمة بشكل كبير .

يمكن استخدام الضاغط اللولبي لضغط أي وسيط تبريد دون التقيد بكتلته الجزئية وبدون الحاجة إلى تغيير التصميم علماً بأن قيمة ضغط الدفع في هذا النوع من الضواغط لا ترتبط بقيمة سرعة دوران القلب الدوار .

من سيئات الضاغط الرئيسة زيادة تعقيد دارة التزييت .

في الوقت الحاضر تستعمل الضواغط اللولبية في مجال استطاعات التبريد بدءاً من 210 وحتى 3500 كيلوواط عند العمل على الأمونيا وفريون R - 22 ، تشمل وحدة ضاغط التبريد اللولبي بالإضافة إلى الضاغط نفسه على :

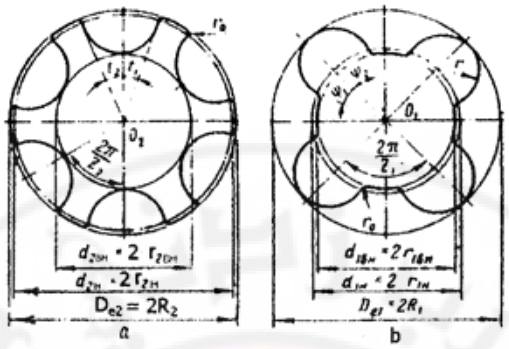
دارة التزييت – آلية نقل الحركة – أجهزة أتمتة.

1 - 4 - 5 – أسس الحساب للضواغط اللولبية :

المواصفات الهندسية :

تتحدد المواصفات الهندسية للضاغط اللولبي بشكل رئيس بمقطع (بروفيل) الأسنان والذي يحدد بدوره فعالية الضاغط نفسه والمؤثرات القياسية الأخرى .

يمكن أن يأخذ بروفيل الأسنان شكلاً اهليلجياً أو غير تناظري أو دائرياً وهما أي النوعان الأخيران الأكثر انتشاراً – انظر الشكل (44 - 5) .



الشكل (44 - 5) بروفيل المحورين الرئيسي والثانوي

$z_1 = 4$ ، $z_2 = 6$ ، قطر الدائرة الابتدائي $d_{1H} = 0.64\ D_{e1}$

$d_{2Bn} - d_{1Bn}$ ، $d_{2H} - 0.96\ D_{e2}$

ارتفاع السن $r_0 = 0.02\ D_{e1}$.

يوضح الجدول (7-5) الصفات الهندسية الاهليلجية واللاتناظرية .

إن المواصفات المحددة في الجدول أعلاه مبنية على أساس التعشيق النظري المحكم لزوج الأسنان وبالتالي إحكام السد بين قسمي الامتصاص والدفع (يتأمن ذلك بإحكام السد على كامل خط التماس بين سنين لولبيين) وأيضاً إحكام السد بين التجاويف الزوجية المتجاورة .

في التصاميم الفعلية للضواغط اللولبية يؤخذ بالحسبان وجود الفراغات ما بين العمودين اللولبيين وفق خط التماس من جهة وبين العمودين والهيكل من جهة أخرى.

يرتبط حجم الفراغات المنوه عنها بعدة عوامل منها التشوهات الحرارية للعناصر العاملة والتشوهات الناتجة عن القوى والإجهادات الناشئة في الهيكل والأجزاء الدوارة وكذلك انزياح الأجزاء الدوارة انزياحاً محورياً ...إلخ .

يؤثر مقدار حجم هذه الفراغات تأثيراً كبيراً في المواصفات الحجمية ومؤشرات قدرة أو إنتاجية الضاغط .

تتحدد البارامترات الهندسية الأساسية للضاغط اللولبي بالمؤشرات أو الأعداد التالية: الطول النسبي ($\bar{L} = L / D_{e1}$) ، زاوية الفتل τ ، الارتفاع النسبي لرأس السن $\bar{r}$ ، نصف القطر r_0، مواصفات رأس السن وعدد الأسنان Z .

الجدول (5-7)

الصيغة	الرمز	قطر التوليد(ملم)			
		200	250	315	250
		$L/D_{c1}=1.35$			$L/D_{c1}=0.9$
h_1	$h_1=3,2\ R$	320	400	504	300
h_2	$h_2=4,8\ R$	480	600	756	450
$\frac{2\pi r_{1H}}{h_1}\ \beta_{1H}=arctg$	$\pi\frac{10}{25}\ \beta_{1H}=\beta_{1H}arctg$	51°29'17,208"	51°29'17,208"	51°29'17,208"	59°10'11,772'
$\frac{2\pi r_{2H}}{h_2}\ \beta_{2H}=arctg$	$\pi\frac{10}{25}\ \beta_{1H}=\beta_{2H}arctg$	51°29'17,208"	51°29'17,208"	51°29'17,208"	59°10'11,772'
$L\frac{2\pi}{h_1}\ \tau_{13}=$	$\pi\frac{2,7}{1,6}\ \tau_{13}=$	304°	304°	304°	270°
$L\frac{2\pi}{h_2}\ \tau_{23}=$	$\tau_{23}=i_{21}\tau_{13}$	202°40'	202°40'	202°40'	180°
$\frac{h_1}{h_2}=\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{n_1}{n_2}\ i_{12}=$	i_{12}	1,5	1,5	1,5	1,5
$\frac{h_2}{h_1}=\frac{Z_2}{Z_1}=\frac{n_2}{n_1}\ i_{21}=$	i_{21}	0,66	0,66	0,66	0,66
d_{1BH}	$d_{1BH}=1,2R$	120	150	189	150
d_{2BH}	$d_{2BH}=1,2R$	120	150	189	150
$f'_{1n}=0,069D_{c1}^2$	f'_{1n}	27,61 / 27,77	43,14 / 43,39	68,49 / 68,89	43,14 / 43,39
$f'_{2n}=0,049D_{c2}^2$	f'_{2n}	19,74 / 19,88	30,48 / 31,06	48,96 / 48,31	30,84 / 31,06
$V'_{n.n}=(f_{1n}+f_{2n})L-\Delta W_\phi$	$V_{n.n}$	1220 / 1236	2390 / 2414	4770 / 4829	1645 / 1656
$\frac{D_{c1}}{2}\ R_1=$	$R_1=R$	100	125	157,5	125
$\frac{D_{c2}}{2}\ R_2=$	$R_2=R$	100	125	-157,5	125
$\frac{d_{2H}}{2}=\frac{D_{c1}-2r}{2}\ r_{1H}=$	$R\frac{16}{25}\ r_{1H}=$	64	80	100,8	80
$\frac{d_{2H}}{2}=\frac{D_{c2}-2r_0}{2}\ r_{2H}=$	$R\frac{16}{25}\ r_{2H}=$	96	120	151,2	120
$A=r_{1H}+r_{2H}$	$R\frac{8}{5}\ A=$	160	200	252	200
$V=R_1-r_{2H}$	$R\frac{9}{25}\ r=$	36	45	56,7	45
	$R\frac{1}{25}\ r_0=$	4	5,0	6,3	5,0
$r_0=R_2-r_{2H}$	$R\frac{1}{25}\ r_0=$	4	5,0	6,3	5,0
	$R\frac{9}{25}\ r=$	36	45	56,7	45
$\overline{L}\ L=2R$	L=2,7 L=1,8	270 -	337 -	425 -	- 325

عادة $\bar{L} = 0.9 \,..\, 1.35$. ويمكن أن تصل حتى ٢,٢ ، تنتخب زاوية الفتل τ_j ضمن المجال 350 .. 270 درجة.

تسمى الزاوية الحدية تلك الزاوية التي يكون عندها التجويف الزوجي متحرراً تماماً من أي تعشيق وذلك في لحظة بدء عملية انضغاط الغاز وتتحدد هذه الزاوية بالعلاقة:

$$\tau_1 = 2\pi - 2\pi/z_1 - 2\beta_{01} \qquad (5 - 130)$$

إذ :

Z_1: عدد أسنان اللولب القائد.

$\beta_{01}(\alpha_{01})$: الزاوية الواقعة بين الخط المركزي والشعاع المنشأ من مركز اللولب القائد والمار برأس السن في وضعية بدء الانضغاط .

إن زيادة قيمة زاوية الفتل على القيمة الحدية يؤدي إلى إنقاص الحجم العامل للتجويف الزوجي بسبب أنه في لحظة بدء الانضغاط يشغل سن اللولب المقود (الثانوي) جزءاً من هذا التجويف .

يفضل أن تؤخذ قيمة الارتفاع النسبي لرأس سن اللولب القائد $\bar{r}_1 = r / r_{1H}$ بأكبر قيمة ممكنة حيث إن زيادة $\bar{r}_1$ تؤدي إلى زيادة الإنتاجية النظرية للضاغط إلا أن هذه الزيادة تؤدي في الوقت نفسه إلى تخفيض متانة القلب الدوار .

تتحدد العلاقة ما بين قيمة الارتفاع النسبي لرأس سن اللولب القائد $\bar{r}_1$ والارتفاع النسبي لرأس سن اللولب المقود $\bar{r}_2 = r_0 / r_{1H}$ عند أقطار خارجية متساوية $D_{e1}=D_{e2}$ بالعلاقة :

$$\bar{r}_1 = (i_{12} - 1) + \bar{r}_2 \qquad (5 - 131)$$

في الضواغط الحديثة تؤخذ $\bar{r}_1$ ضمن المجال (0.65 .. 0.56) بينما $r_2 = 0.0625$

تؤدي زيادة قيمة ارتفاع رأس السن للولب المقود r_0 إلى إنقاص متانة التعشيق بسبب ازدياد قيمة عزم الفتل على اللولب المقود وبالتالي زيادة الحمل بالنسبة للضواغط التي لا تحوي مسننات اتصال (وسطية) بين القلوب الدوارة على سطح تماس اللوالب .

يتم تقييم نوعية المقاطع اللولبية باستخدام مؤشرات خاصة حيث يتم مقارنتها مع مقاطع عيارية ذات أسنان دائرية متناظرة .

عدد أسنان القلب الدوار الرئيس 4 وزاوية الفتل 288 درجة ، أما عدد أسنان القلب الدوار الثانوي فيساوي6 .

يعبر عن مؤشرات المقارنة بالعوامل التالية :

معامل استخدام الحجم :

$$\Omega = V_o / V_k \qquad (5 - 132)$$

إذ :

V_o : الإنتاجية الحجمية النظرية للضاغط عند دورة واحدة للولب القائد.

V_k : الحجم الداخلي للهيكل .

معامل التصريف :

ويعطى بالعلاقة :

$$\varphi = \frac{V_T}{F_{ka}.u} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \Omega.\bar{L} \qquad (5 - 133)$$

إذ :

V_T: الإنتاجية الحجمية النظرية للضاغط اللولبي .

F_k: المقطع الداخلي الأدنى للهيكل .

u : السرعة المحيطية المقاسة على سطح أسطوانة اللولب .

طول اللولب النسبي :

$$\bar{L} = L / D_{el} \qquad (5 - 134)$$

إذ L طول اللولب .

الإنتاجية النسبية :

$$\bar{V}_o = V_o / V_{ol} \qquad (5 - 135)$$

إذ : V_{ol} الإنتاجية الحجمية النظرية عند استخدام محور لولبي عياري .

الحجم المضغوط النسبي :

$$\bar{V}_3 = V_3 / V_{nn} \qquad (5 - 136)$$

إذ :

V_3: أكبر حجم مضغوط.

V_{nn} : حجم التجريف الزوجي.

سطح الشق المثلثي النسبي :

$$S_T = \frac{S_T}{\sqrt[3]{V_{nn}^2}} \qquad (5 - 137)$$

إذ : S_T سطح الشق المثلثي .

طول خط التماس :

$$\bar{\ell} = \frac{\ell}{\sqrt[3]{V_{nn}}} \qquad (5 - 138)$$

إذ : ℓ طول خط التماس اللولبي على طول خطوة المحور .

السطح المحوري النسبي للولب المقود :

$$\bar{F}_{H_2} = \frac{F_{H_2}}{F_{32}} \qquad (5 - 139)$$

إذ : F_{H_2} : السطح المحوري .

F_{32}: السطح المحدد بخط التعشيق المتوضع داخل الدائرة الأولى للولب المقود.

شعاع التواء اللولب النسبي :

$$\bar{f} = f_i / f_e \qquad (5 - 140)$$

إذ : f_i : شعاع الالتواء للولب المحسوب .

f_e : شعاع الالتواء للولب العياري .

يبين الجدول (5-8) المواصفات الهندسية للوالب المستخدمة في الضواغط .

الجدول (8-5) ملاحظة :هنا A المسافة بين مراكز اللولبين

شكل الأسنان	الحجم الأعظمي للتجويف الزوجية	حجم السحب خلال دورة واحدة للولب القائد	طول اللولب	طول خط تماس اللولب على الخطوط المحورية للولب	مساحة المقطع على شكل متنبي	المساحة التي تشغلها خطوط التعشيق	الإنتاجية النسبية
عياري	$0,2626A^3$	$1,05A^3$	1,8A	1,30A	$0,0018A^2$	$0,0584A^2$	1
دائري تناظري	$0,3363A^3$	$1,35A^3$	1,875A	1,42A	$0,0025A^2$	$0,0742A^2$	1,285
غير تناظري	$0,3141A^3$	$1,26A^3$	1,687A	1,57A	$0,0014A^2$	$0,0742A^2$	1,96
قطع ناقصي	$0,3121A^3$	$1,25A^3$	1,687A	1,55A	$0,0024A^2$	$0,082A^2$	1,88

2 - 4 - 5 – الإنتاجية الحجمية : Volumetric Productivity

تتناسب الإنتاجية التبريدية للضواغط اللولبية طرداً مع الإنتاجية الحجمية وفق المعادلة:

$$V_d = \lambda . V_T \qquad (5 - 141)$$

إذ : V_T الإنتاجية النظرية الحجمية وتساوي:

$$V_T = z_1 . n_1 . V_{nn}$$

1 - 2 - 4 - 5 – تغير حجم التجويف الزوجي :

يبين الشكل (45 - 5) علاقة تغير حجم التجويف الزوجي بالتناسب مع زاوية الدوران φ_1 للولب القائد ذي مقطع السن الإهليلجي .

يبين المنحني (1) تصاعد حجم التجويف المزدوج أثناء عملية الامتصاص بينما يعبر المنحني (2) عن تناقص الحجم أثناء عملية الطرد .

2 - 2- 4- 5 درجة الانضغاط الهندسية : ε_G

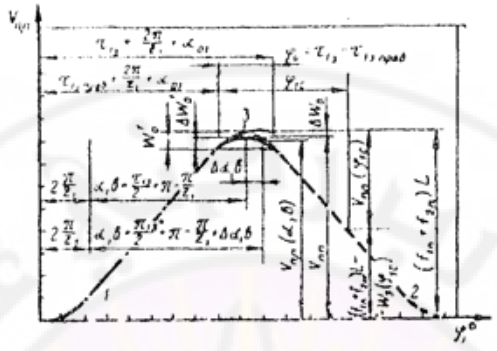
وتساوي نسبة حجم التجويف الزوجي V_{nn} لحظة انفتاحه على فتحة الامتصاص إلى حجم هذا التجويف لحظة انفتاحه على نافذة أو فتحة الدفع .

تتراوح قيمة هذه النسبة ما بين (5 .. 2.6) وذلك تبعاً لدرجة الحرارة المسموح بها في نهاية عملية الانضغاط .

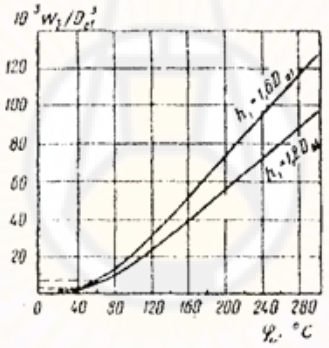
3 -2- 4 - 5 – الحجم المعبأ (المملوء) :

يتحدد هذا الحجم بالمعادلة :

$$W_3 = \frac{(f_{1n} + f_{2n})L\varepsilon_G - V_{nn}}{\varepsilon_G} \qquad (5 - 142)$$



الشكل (45 - 5) زاوية الانضغاط الهندسية

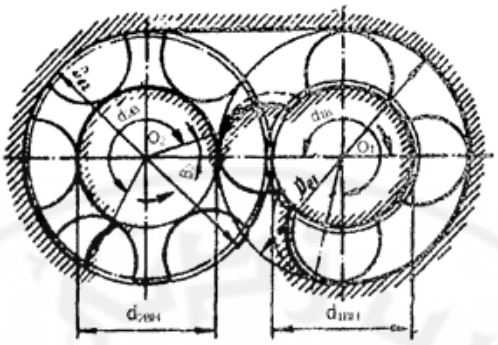


الشكل (46 - 5) الحجم المعياً .

يتعلق الحجم المملوء بزاوية الضغط φ_{1c} – الشكل (46 - 5) – وهي زاوية دوران اللولب القائد بدءاً من لحظة تعشق أسنان المحورين اللولبيين من جهة الامتصاص وحتى لحظة بدء اتصال التجويف المزدوج مع نافذة الدفع .

4 - 2- 4- 5 – مقاطع نوافذ (فتحات) الامتصاص والطرد :

تتوضع نافذة (فتحة) الامتصاص عرضيا في مقدمة الهيكل المغلف للولب ، يتحدد قياس نافذة الامتصاص – الشكل (47 - 5) بالزوايا المركزية α_{1B} و α_{2B} و التي تسمى زوايا الامتصاص.



الشكل (47 - 5) منظور نافذة الامتصاص

الخط المتقطع يتبع للضاغط اللولبي ذي المقطع اللا تناظري للسن .

يبلغ الحجم الكلي للتجاويف المزدوجة V_{nn} حده الأقصى عندما تكون زاوية دوران اللولب القائد تساوي:

$$\varphi_1 = \tau_{13}/2 + \pi/Z_1 + \pi$$

إذ τ_{13} – زاوية فتل اللولب القائد.

مما سبق ينتج أنه من الضروري اتصال نافذة الامتصاص مع التجويف الزوجي خلال كامل الفترة الزمنية التي يستغرقها دوران اللولب القائد بالزاوية φ_1 .

أي أنه عندما تكون $\tau_{13} > \tau_{1cr}$ يجب أن تساوي زاوية الامتصاص :

$$\alpha_{1B} \geq \tau_{13}/2 + \pi - \pi/z_1$$

في حالة ارتفاع سرعة الجريان للغاز الممتص تصبح زاوية الامتصاص :

$$\alpha_{1B} = \tau_{13}/2 + \pi - \pi/z_1 + \Delta\alpha_{1B}$$

تسمى القيمة $\Delta\alpha_{1B}$ زاوية التغطية و تؤخذ عملياً القيمة $\alpha_{1B} = 280$ لمقاطع الأسنان الإهليلجية و اللا تناظرية .

5 - 2 - 4 - 5 – حساب زاوية الامتصاص للولب المقود :

وتتحدد هذه الزاوية بالعلاقة التالية :

$$\alpha_{2B} = \frac{\alpha_{1B} + \frac{2\pi}{z_1}}{i_{12}} - 2\theta_2 \qquad (5 - 143)$$

إذ :

α_{1B} : زاوية الامتصاص الحسابية للولب القائد .

$2\theta_o$: زاوية تجويف اللولب المقود في حالة تمتع أسنانه بمقطع إهليلجي

أما في حالة مقاطع الأسنان اللا تناظرية عندها تستبدل بـ $2\theta_2$ قيمة مجموع زوايا التجاويف المركزية للولب المقود t_1 و t_2 انظر الشكل (47 - 5) .

تؤخذ قيمة α_{2B} بالنسبة للمقاطع اللا تناظرية وللمقاطع الإهليلجية $\alpha_{2B} = 208^{\circ}$.

يتحدد شكل وسطح نافذة (فتحة) الطرد بالنسبة للضواغط اللولبية الشكل (47 - 5) تبعاً لدرجة الانضغاط الهندسية حيث يحسب سطح نافذة الدفع كمجموع القطاعات الأسطوانية المحددة بزوايا الدفع α_{II} و α_{III} .

يبين الجدول (9-5) قيم زوايا الدفع بالنسبة للولبين القائد و المقود حيث ترتبط بمقدار زاوية الانضغاط φ_{1C} :

الجدول (9-5) :

مقطع السن	اللولب القائد	اللولب المقود
إهليلجي	$(25^{\circ}07' \div 36^{\circ})L/h_1 - \varphi_{1C}$	$(57^{\circ}22' \div 36^{\circ})L/h_1 - \varphi_{1C}/1,5$
اللا تناظري	$\varphi_{II} + \tau_{13} - \varphi_{1C}$	$\alpha_{II}/i + \pi/3 - t_2$

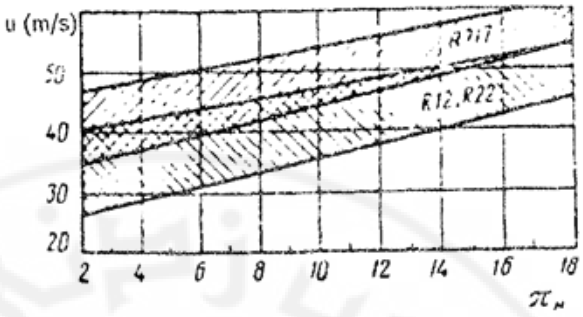
ملاحظة : هنا $t_2 = 28^{\circ}14`41,28``$

6 - 2 - 4 - 5 -السرعة المحيطية :

تؤثر السرعة المحيطية (u) تأثيراً كبيراً في الإنتاجية الحجمية للضواغط اللولبية وتتحدد هذه السرعة بالعلاقة :

$$u = \pi.D_e.n / 60$$

يبين الشكل (48 - 5) علاقة السرعة الزاوية المسموح بها مع زيادة قيمة الضغط الخارجي π_H عند العمل على الأمونيا والفريونات .



الشكل (48 - 5) علاقة السرعة الخطية على الدائرة الخارجية
للولب الرئيس مع نسبة زيادة الضغط

7 - 2 - 4 - 5 - معامل الإنتاجية :

يعبر معامل الإنتاجية عن نسبة الإنتاجية الحجمية الفعلية إلى الإنتاجية النظرية أي:

$$\lambda = V_d / V_T \qquad (5 - 144)$$

يشمل هذا المعامل عدة معاملات ضياع مختلفة تعبر عن الضياعات التالية :

λ_1 : التسرب الداخلي لوسيط التبريد عبر الفراغات و الشقوق .

λ_2 : زيادة تسخين وسيط التبريد أثناء عملية الامتصاص .

λ_3 : انفصال وسيط التبريد عن الزيت القادم إلى تجويف الامتصاص .

λ_4 : دخول الزيت إلى تجويف الامتصاص .

λ_5 : المقاومات الهيدروليكية لأقنية الامتصاص .

λ_6 : القوى النابذة المؤثرة في وسيط التبريد .

مما سبق يمكن التعبير عن معامل الإنتاجية بالعلاقة :

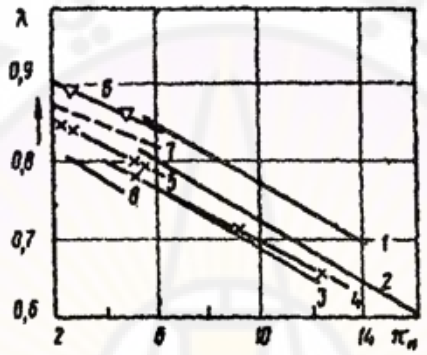
$$\lambda = \lambda_1 . \lambda_2 . \lambda_3 . \lambda_4 . \lambda_5 . \lambda_6 \qquad (5 - 145)$$

في الضواغط اللولبية المليئة بالزيت والتي تعمل على وسيط تبريد غازي فإن الغاز يختلط بالزيت الموجود في التجاويف بشكل قطرات أو طبقة رقيقة على السطوح وفي هذه الحالة يشكل وسيط التبريد مع الزيت مزيجاً تتعلق خواصه (اللزوجة و الكثافة) ليس فقط بدرجة الحرارة و الضغط و حسب بل أيضاً بكثافة المركبات المؤلفة للمزيج.

في الواقع العملي يصعب حساب معامل الإنتاجية حسابياً بسبب عدم معرفتنا لخصائص المزيج الزيتي – الغازي لذلك يحسب هذا المعامل تجريبياً.

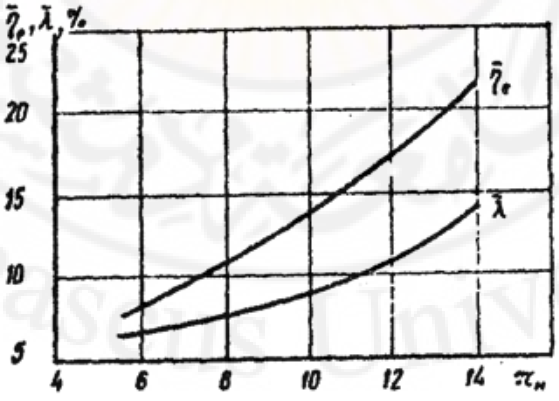
يبين الشكل (49 - 5) علاقة معامل الإنتاجية بدرجة ازدياد ضغط الدفع وذلك لضاغط لولبي يعمل على الأمونيا و فريون R-22 .

نلاحظ من الشكل (49-5) أن قيمة معامل الإنتاجية لا تتأثر فقط بضغط الدفع بل تتأثر أيضاً بقيمة فرق الضغوط.



الشكل (49 - 5) علاقة معامل الإنتاجية المفيدة بضغط الدفع .

يبين الشكل (50 - 5) تأثير خواص الزيوت على قيمة معامل الإنتاجية حيث أخذ الزيت X C40 و X A30 كمثال .



الشكل (50 - 5)

3 - 4 - 5 -الاستطاعة المستهلكة والمردود :

Power Consumption & Efficiency:

تصرف الاستطاعة المنقولة إلى الضاغط اللولبي للتغلب على القوى التالية :

N_{nom} : الاستطاعة المصروفة للتغلب على القوى الناشئة على سطح القلب الدوار بسبب ضغط البخار .

N_m : الاستطاعة المصروفة للتغلب على القوى الناشئة عن نقل الزيت باتجاه فتحة الدفع .

N_{gm} : الاستطاعة المصروفة لمقاومة قوى الاحتكاك المماسية التي يؤثر بها البخار والزيت في سطوح الضاغط العاملة .

N_{TP} : قوى الاحتكاك في الرولمانات .

ومنه تتحدد استطاعة الضاغط الفعالة (الفرملية) بالعلاقة :

$$N_e = N_{nom} + N_m + N_{gm} + N_f \qquad (5 - 146)$$

كما تعطى الاستطاعة الداخلية بالعلاقة :

$$N_i = N_{nom} + N_m + N_{gm} \qquad (5 - 147)$$

ترتبط الاستطاعة الفرملية للضاغط باستطاعة المحرك الكهربائي بالعلاقة .

$$N_e = N_E \cdot \eta_E \qquad (5 - 148)$$

عند توافر مؤشرات بيانية فيمكن تحديد قيمة N_{nom} من خلال معرفة الضغط الوسطي وفق العلاقة التالية :

$$N_{nom} = (V_T - V`_m).P_i \qquad (5 - 149)$$

كما يمكن تحديد N_{nom} إذا كان معلوماً لدينا المعامل الوسطي لبوليتروب الانضغاط و الذي يمكن حسابه على أساس معطيات تجريبية وفق العلاقة :

$$m_2 = \frac{Log\pi}{Log\pi - Log\frac{T_2}{T_1}} \qquad (5 - 150)$$

إذ : T_2 , T_1 درجة حرارة البخار في أنابيب الامتصاص و الطرد على التوالي.

عادة تكون $m_2 < K$.

عند تساوي ضغط الدفع و الضغط الداخلي أي $P_2 = P_a$ – العملية 2-1 على الشكل (5 - 51) – عندها تعطى N_{nom} بالعلاقة :

$$N_{nom} = \left(V_1 - V'_M \right) P_1 x \frac{m}{m_2^{-1}} \left(\pi^{\frac{m_2-1}{m_2}} - 1 \right) \qquad (5 - 151)$$

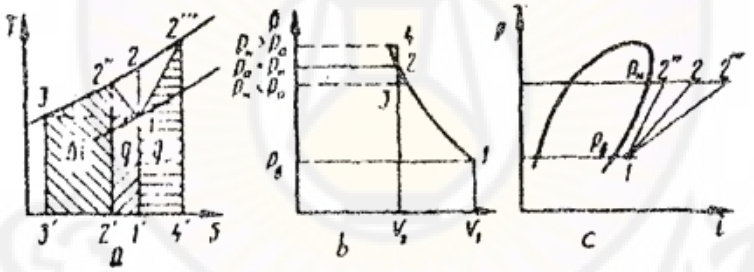
إذ : V_m التدفق الحجمي للزيت الداخل إلى تجويف امتصاص الضاغط (m^3/sec).

عند عدم تطابق P_2 مع P_a أي $P_2 \neq P_a$ – الإجراء 3-1 و 4-1 في الشكل (5 - 51) عندها تعطى قيمة N_{nom} بالمعادلة التالية :

$$N_{nom} = \left(V_T - V'_m \right) . \left(P_1 . \frac{\varepsilon_g^{m_2-1} - m_2}{m_2} + \frac{P_2}{\varepsilon_g} \right) \qquad (5 - 152)$$

يمكن حساب الاستطاعة المبذولة للتغلب على الاحتكاك الميكانيكي N_f والاستطاعة المبذولة للتغلب على الفقد الهيدروليكي تحليلياً بالمعادلة التالية:

$$N_{gm} + N_m = 2.2 \times (u_1)^{1.4} . (V_m/V_T)^{0.6} \qquad (5 - 153)$$



الشكل (5 - 51)

تتحدد الاستطاعة المبذولة لنقل الزيت في الضاغط بالعلاقة :

$$N_M = C . G_M . \Delta P_M / \rho_M \qquad (5 - 154)$$

إذ :

ΔP_M : الفرق بين ضغط الامتصاص وضغط الدفع (Kp_a) .

ρ_M : كثافة الزيت عند شروط العمل (kg/m^3) .

C : عامل يأخذ بالحسبان عدم انتظام توزع الزيت في الضاغط

$$C = 0.9 \; .. \; 0.93$$

يتحدد المردود الفعال بالعلاقة :

$$\eta_e = G_a \times \Delta i_{1.2} / N_e = N_{ad} / N_e \qquad (5 - 155)$$

و المردود الأديباتي :

$$\eta_i = N_{ad} / N_i \qquad (5 - 156)$$

و المردود الميكانيكي :

$$\eta_m = N_i / N_e = (N_e - N_i) / N_e \qquad (5 - 157)$$

تعطى كمية الحرارة المنقولة من واحد كيلو غرام من البخار المضغوط شكل (5 - 51 ,a) أثناء عملية الانضغاط :

$$q_1 = N_e / G_a - \Delta i_{1.2}'' \qquad (5 - 158)$$

إذ : $\Delta i_{1.2}''$ ممثلة بالمساحة (2`- 2``- 3 - 3`- 2`) .

يبين الشكل (5 - 51 , b) القيم الوسطية للدليل البوليتروبي أثناء عملية الانضغاط، كما تمثل الخطوط البيانية المبينة على الشكل (5 - 51 , c) الأداء الفعلي لضاغط لولبي إنتاجيته النظرية $V_T = 0.0865\ m^3/Sec$ إذ $u_1 = 40.5\ M/Sec$ ، $\varepsilon_g = 4$ وذلك عند العمل على فريون R-22 وزيت من نوع XC40

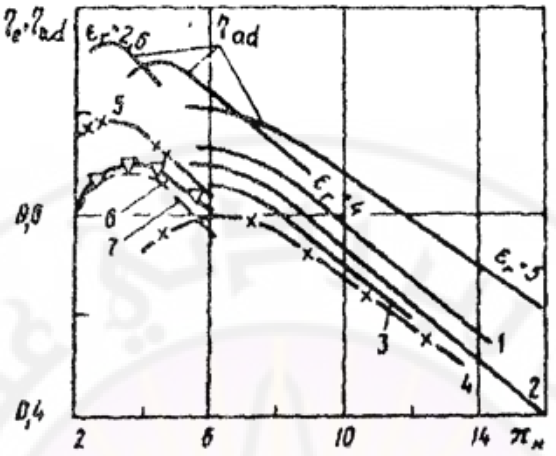
($t_k = 30\ ^oC$, $t_o = -25 .. -45\ ^oC$)

من الشكل نرى أن عملية الانضغاط تبدأ بضغط أكبر من ضغط البخار عند عملية الامتصاص كما توضح المنحنيات البيانية أن عملية الانضغاط تتم عند قيمة متغيرة لدليل البوليتروب .

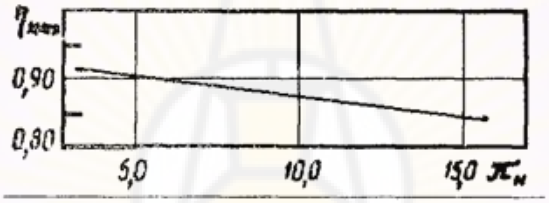
وأخيراً نلاحظ أن عملية الانضغاط نفسها تنتهي بضغط أكبر من قيمة الضغط في أنابيب الدفع.

يبين الشكل (5 - 52) علاقة كل من η_e و η_{ad} بالنسبة π_H مع الإشارة إلى أن المردود يتبع لقيمة درجة الانضغاط الهندسية و فرق الضغوط .

يبين الشكل (5 - 53) تغير η_{max} تبعاً للنسبة π_H لضاغط لولبي إنتاجيته $V_T = 0.208\ m^3/C$ ، $V_1 = 32\ m/Sec$ و $\varepsilon_G = 3.7$ إذ يعمل على الفريون R-22 وزيت XC 30 .



الشكل (5 - 52)



الشكل(5 - 53)

4 - 4 - 5 – كمية الزيت اللازمة للضاغط :

يستفاد من كمية الزيت الداخلة إلى الضاغط بشكل رئيس في تبريد الضاغط بالإضافة إلى تزييت عناصر الاحتكاك .

تتحدد كمية الزيت التي يجب إعطاؤها للتجاويف العاملة في الضاغط من شرط توازن القدرة للضاغط وفق المعادلة التالية :

$$Q_M = N_{nom} + N_{g_m} + N_M + N_f - G_a \cdot \Delta i - Q_{o.c} \qquad (5 - 159)$$
$$\approx N_e - G_a (i``_2 - i_1) - Q_{o.c}$$

إذ : $Q_{o.c}$ كمية الحرارة المنتقلة عبر هيكل الضاغط إلى الوسط الخارجي و تساوي إلى (6 .. 8)% من قيمة Q_M.

تحسب كمية الزيت اللازمة للتبريد من العلاقة التالية :

$$G_M = Q_M / (C.\Delta t_M) \qquad (5 - 160)$$

إذ : Δt_M ارتفاع درجة حرارة زيت التبريد و يؤخذ ضمن المجال ^oC 40 .. 20.

كما يتحدد المصروف الحجمي للزيت بالعلاقة :

$$V_M = G_M / \rho_M \qquad (5 - 161)$$

تؤخذ كثافة الزيت XA 30 عند درجة الحرارة ^oC 50 ، $\rho_M = 863\ kg/m^3$

أما كثافة الزيت نوع XC 40 عند درجة الحرارة نفسها فتؤخذ $\rho_M = 826\ kg/m^3$.

عند العمل على الفريونات فإن كمية الزيت تحسب على أساس كثافة المحلول الزيتي–الفريوني آخذين بالحسبان درجة التركيز لكل منهما وذلك باستعمال المخططات البيانية (ξ-T-ν) و (ξ-P-i) .

تحسب النسبة النسبية للزيت (لكل كغ وسيط تبريد) بالعلاقة :

$$q_M = G_M / G_a \qquad (5 - 162)$$

إن كمية الزيت المعطاة إلى الضاغط تؤثر تأثيراً بالغاً في مميزات أداء الضاغط وقد تبين بالتجربة أنه عند إعطاء كمية محددة من الزيت فإن المردود يزداد .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

المكثفات وأبراج التبريد
Condensers & Cooling Towers

المكثفات هي مبادلات حرارية يتم بمساعدتها طرح الحرارة إلى الوسط الخارجي، و تبعاً للوسط المبرد تقسم المكثفات إلى أربع مجموعات هي :

١ – المكثفات المائية : وفيها يعمل الماء كوسط مبرِّد .

٢ – المكثفات التبخرية : وفيها يعمل مزيج من الماء و الهواء كوسط مبرِّد .

٣ – المكثفات الهوائية : وفيها يقوم الهواء بدور الوسط المبرِّد .

٤ – المكثفات هي التي تستفيد من غليان وسيط التبريد أو مادة أخرى في عملية التبريد و هنا يكون للمكثف دور مزدوج بحيث يعمل مكثف و مبخر في آن واحد.

6 - 1 – المكثفات المائية : Water Cooled Condenser

تقسم هذه المكثفات بدورها إلى ثلاثة أقسام :

١ – مكثفات التيار . ٢ – مكثفات الغمر . ٣ – مكثفات تبخرية .

- تتم عملية طرح الحرارة من وسيط التبريد إلى الماء في مكثفات التيار نتيجة تسخين الماء المار عبر المكثف و عملياً فإن كل اكغ ماء يمتص وسطياً (33 .. 16) كيلو جول من الحرارة.

و أكثر مكثفات التيار انتشاراً هي المكثفات الصندوقية الأنبوبية الأفقية و العمودية، كما أنه ما تزال تستعمل في بعض الأماكن المكثفات التجميعية المكونة من عدة عناصر أنبوبية صندوقية متصلة مع بعضها بعضاً .

- أما في المكثفات التبخرية ، فإن طرح الحرارة يتم و بشكل رئيس بعملية تبخر الماء الذي يبلل الجدران الخارجية للمكثف .
- و في مكثفات الغمر، فإن طرح الحرارة يتم بتسخين الماء الذي يسيل فوق سطح أنابيب المكثف و كذلك تبخر جزء من الماء أيضاً . تعدّ مكثفات الغمر بمثابة نوعاً وسطاً بين

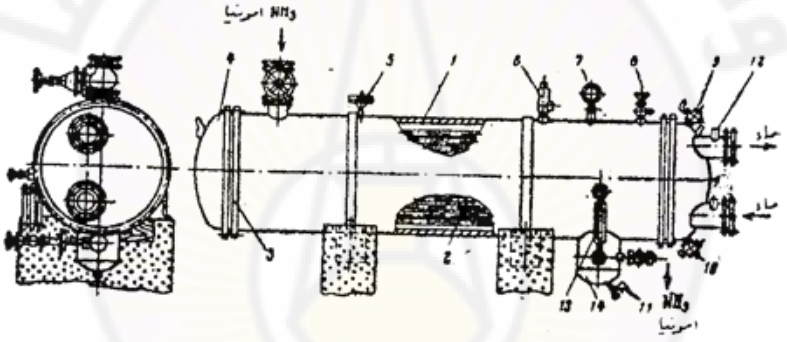
مكثفات التيار و المكثفات التبخرية . تصنع مكثفات الغمر و التبخرية من الفولاذ كما أن انابيبها تصنع من المواد المقاومة للصدأ.

1 - 1 - 6 – مكثفات التيار : Running Water Condensers

1 - 1 - 1 - 6 – المكثفات الأفقية الأنبوبية الصندوقية :

Shell Tube Horizontal Condensers

يبين الشكل (1 - 6) رسماً عاماً لمكثف أمونيا يتألف من غلاف خارجي على شكل قفص فولاذي 1مغلق من طرفيه بقرصين متقبين 3 تتعشق بها أنابيب 2 قطر الأنابيب يتراوح عادة في المجال (25÷50 mm)



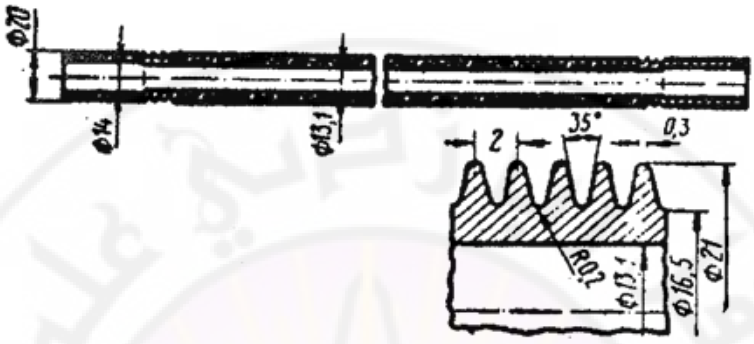
الشكل (1- 6)

تدخل أبخرة وسيط التبريد (الأمونيا)، و الخارجة من الضاغط إلى المكثف من الفتحة العلوية كما في الشكل و تأخذ بملء الفراغ الكائن بين الأنابيب .

بعدها تبدأ الأبخرة هذه بالتكاثف على السطح الخارجي للأنابيب ثم تخرج الأمونيا السائلة من الفتحة الواقعة في أسفل المكثف إلى المجمع . تواجد في أحد طرفي المكثف فتحتان إحداهما لدخول الماء و الثانية لخروجه حيث يتم جريان الماء داخل الأنابيب المتوضعة داخل المكثف .

توجد في غطاءي المكثف الجانبيين، أحجبة حاجزة عددها يتبع لعدد مرات تغير جهة حركة الماء في المكثف . إن أنابيب المكثف الداخلية هي أنابيب مستقيمة أو بشكل حرف U و في هذه الحالة يكون للمكثف غطاء واحد بالإضافة إلى العناصر الرئيسة التي تكون المكثف، مثل الفلنجة 5 بالإضافة إلى صمام أمان 6 ومقياس ضغط 7 و صمام

لتصريف الهواء و الغازات الأخرى غير المكثفة 8 ، وفي أسفل المكثف يوجد مجمع للزيت 14 و عليه يتوضع صمام لتصريف الزيت 11 و مقياس سوية للسائل 13 .



الشكل(٦ - ٢)

تبعا لعدد مرات تغيير اتجاه حركة الماء تتحدد سرعته الماء ضمن المجال 1.5 - 2.5 m / sec.

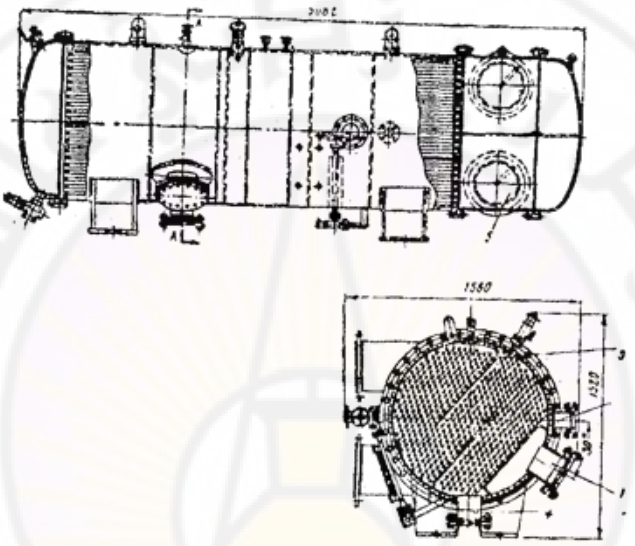
في حالة عدم وجود مجمع مستقل في محطة التبريد فإنه يستعاض عن ذلك بالقسم السفلي من المكثف.

يتراوح الحمل الحراري النوعي لهذه المكثفات ما بين w/m^2(6000 - 3000) عندما $\theta_t = 5 .. 6\ ^oC$. في المكثفات الأفقية العاملة على الفريونات بسبب كون لزوجة الفريونات μ كبيرة وحرارة التبخر r صغيرة بالتالي تكون قيمة معامل الانتقال الحراري α_1 من جهة الفريون أصغر من قيمة معامل الانتقال الحراري α_2 من جهة الماء ، لذلك يجهز السطح الخارجي لأنابيب المكثف الفريوني بريش لزيادة سطح التبادل الحراري إذ تعوض عن الفرق بين معاملي انتقال الحرارة داخل وخارج الأنبوب .

يبين الشكل (2 - 6) أنبوباً نحاسياً مجهز بريش من الخارج إذ إن هذه الريش تزيد من مساحة سطح التبادل الخارجي من (4 .. 3) مرات .

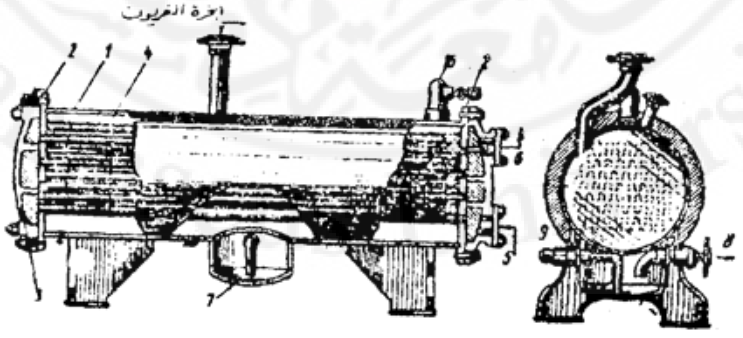
يبين الشكل (3 - 6) مكثفاً أنبوبياً أفقياً يعمل على الفريون يتألف من الغلاف الخارجي 1 و من معشقة أنابيب 2 تصل بين حزمة الأنابيب 4 و الغطاء 3 .
على أحد الغطاءين الطرفيين توجد فتحتان 6 و 5 لدخول و خروج مياه التبريد .

في القسم السفلي من المكثف يوجد مجمع الفريون المتكاثف 7 و المجهز بصمام الخروج 8 و صمام التفريغ 9 كما يوجد صمام الأمان 10 في القسم العلوي من المكثف .
الحمل الحراري النوعي لهذا المكثف منسوبا للسطح الداخلي للأنابيب يتراوح ضمن المجال $6000 - 8000\ w/m^2$ عند $\theta_t = 5 .. 6\ ^oC$.



الشكل (3 - 6)

يبين الشكل (4 - 6) نوعاً من المكثفات الأفقية العاملة على الفريون إذ ينتشر استخدام هذا النوع في محطات التبريد التي تستخدم الضواغط التوربينية .



الشكل (4 - 6)

هنا يتم دخول بخار الفريون من فتحة جانبية 1 عبر حجاب حاجز مثقب 3 إذ يسير البخار في الفراغ الكائن بين الأنابيب بسرعة عالية. يتم تصريف الفريون المتكاثف عبر القناة 4 كما تجهز هذه المكثفات بحجرة خاصة لدخول و خروج الماء 5 .

تصل سرعة الماء داخل الأنابيب حتى 2.5 m/sec كما تصل قيمة الحمل الحراري النوعي منسوبا للسطح الداخلي للأنابيب إلى w/m^2 23000 - 17000 .

إن سبب ارتفاع الحمل الحراري النوعي هو وجود الريش على السطح الخارجي للأنابيب و كذلك انعدام وجود زيت التزييت و السرعة الهائلة للماء داخل الأنابيب و لبخار وسيط التبريد بالإضافة إلى الطرح المستمر للفريون المتكثف على سطح الأنابيب .

2 - 1 - 1 - 6 – المكثفات الأنبوبية الشاقولية :

(Vertical Tube - Condensers)

يبين الشكل (5 - 6) نموذجاً لمكثف شاقولي يتألف من غلاف خارجي 1 عند نهايته قرصان مثقبان 2، يتعشق بها أنابيب فولاذية 3 بقطر ٣,٥ ×٥٧مم.

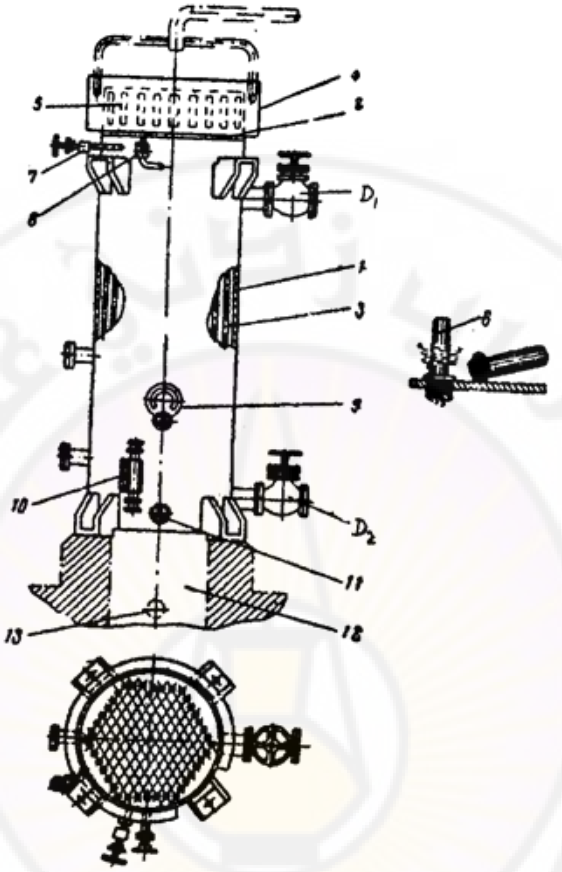
في الفراغ الكائن بين الأنابيب يدخل وسيط التبريد من الفتحة D_1 .

داخل الأنابيب يمر الماء الذي يدخل إلى المكثف عبر حوض توزيع الماء 4 إذ يوضع ضمن هذا الحوض فاصل أسطواني مثقب 5 من أجل إنجاز عملية توزيع مياه التبريد بشكل جيد بين الأنابيب.

يتم تجهيز كل نهاية أنبوب بقلنسوة مثقبة تعمل على توجيه حركة الماء بشكل محيطي حول جدران الأنبوب من الداخل .

يتم تصريف الطبقة المتكاثفة من الفريون على جدران الأنبوب الخارجية عبر الفتحة D_2. يوضع في القسم العلوي من المكثف صمام تفريغ مزيج البخار والهواء 7 بالإضافة إلى صمام الأمان 8 .

في القسم النصفي من المكثف يوجد جهاز قياس الضغط 9 أما في القسم السفلي فتوجد نافذة قراءة سوية وسيط التبريد و فتحة لتصريف زيت التزييت 11 وحوض تجميع مياه التبريد 12 حيث تخرج المياه عبر الأنبوب 13 .



الشكل (5 - 6)

يتميز هذا النوع من المكثفات بإمكان تساقط وسيط التبريد المتكاثف و زيت التزييت الذي يحمله تيار البخار القادم من الضاغط إلى الأسفل بشكل حر كما يتميز بسهولة تنظيف الأنابيب من ترسبات مياه التبريد على الجدران الداخلية للأنابيب .

يكمن العيب الرئيس لهذه المكثفات في عدم إمكان تحقيق زيادة تبريد وسيط التبريد.

تصل قيمة الحمل الحراري النوعي للمكثفات الشاقولية إلى $4500\ w/m^2$ و ذلك عندما تصل قيمة θ_t إلى $6\ ..\ 5^oC$.

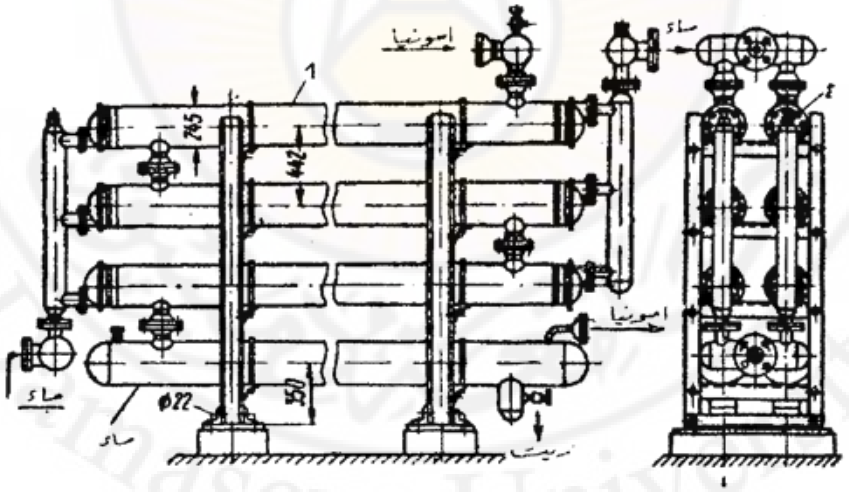
6 - 1 - 1 - 3 – المكثفات التجميعية : Collective Condensers

تتألف هذه المكثفات من عناصر أنبوبية مستقلة تتصل مع بعضها بعضاً بشكل متسلسل شكل(٦ – ٦) .

يتألف كل قسم من أنبوب أبعاده 245 × 6.5 mm يحتوي عدة أنابيب٢ بقطر ٣,٥ ×٣٨مم، تحتوي الأقسام عادة 14 أنبوباً، ويمكن أن تحتوي 7 أو 3 أنابيب. تتوضع أقسام الأنابيب فوق بعضها إذ تتصل بوساطة مجمع 3 في أسفل كل قسم. يدخل وسيط التبريد من الأعلى في الفراغ الكائن بين الأنابيب داخل الأنبوب الرئيس إذ يتابع سيره من عنصر إلى آخر ليتجمع أخيراً في المجمع السفلي .

تتم تغذية هذه العناصر بمياه التبريد عن طريق موزع رئيس طرفي إذ يمكن أن تأخذ حركة الماء اتجاها واحدا أو عدة اتجاهات ضمن الأنابيب الصغيرة المتوضعة ضمن كل عنصر أنبوبي. تصل قيمة الحمل الحراري النوعي لمثل هذه المكثفات إلى $5000\ w/\ m^2$ عند فرق درجات حرارة قدره $\theta_t = 5 .. 6\ ^oC$ بين وسيط التبريد و الماء.

تستعمل هذه المكثفات في آلات التبريد العاملة على الأمونيا .



الشكل (6 - 6)

6 - 1 - 1 - 4 – الحسابات الحرارية للمكثفات الأنبوبية الأفقية :

لحساب سطح التبادل الحراري F للمكثف نستعمل العلاقة التالية :

$$Q = K . f . \theta_t \qquad (6 - 1)$$

أو :

$$f = Q / \theta_t . K \qquad (6 - 2)$$

إذ :

Q: الحمل الحراري للمكثف (w) .

K: معامل الانتقال الحراري الكلي $w / m^2 . k^o$.

f : مساحة سطح التبادل الحراري (m^2) .

θ_t : فرق الدرجات الحرارية اللوغارتمية الوسطي بين درجة حرارة التكاثف و درجة الحرارة الوسطية لمياه التبريد .

إذا كانت درجة حرارة الغليان لآلة التبريد المدروسة t_o و درجة حرارة التكاثف t و درجة الحرارة الوسطية لمياه التبريد t_W و الإنتاجية التبريدية لهذه الآلة Q_o فإنه يمكن تحديد الحمل الحراري للمكثف من العلاقة التالية :

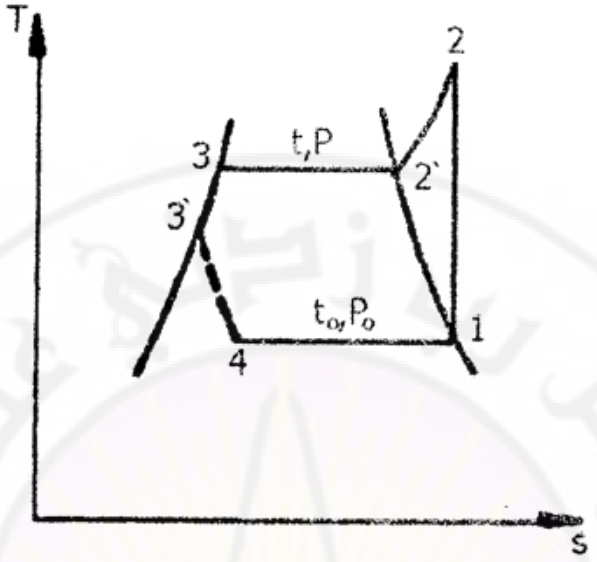
$$Q = G_o (i_2 - i_3`) \qquad (6 - 3)$$

تتحدد كمية الحرارة المطروحة في منطقة زيادة التسخين – انظر الشكل (7 - 6) – بالعلاقة :

$$Q_5 = Q (i_2 - i_2`) / (i_2 - i_3`) \qquad (6 - 4)$$

أما في منطقة البخار المشبع فتتحدد بالعلاقة :

$$Q_k = Q (i_2` - i_3 ) / ( i_2 - i_3`) \qquad (6 - 5)$$



الشكل (7 - 6)

و أخيرا تتحدد كمية الحرارة المطروحة في منطقة زيادة التبريد بالعلاقة :

$$Q_R = Q (i_3 - i_{3`} ) / ( i_2 - i_{3`}) \qquad (6 - 6)$$

أثناء حساب الحمل الحراري لمنطقة البخار المحمص Q_S و منطقة البخار المشبع Q_k يتم دوما حساب قيمة مجموع ($Q_S + Q_k$) بسبب أن درجة حرارة سطح المبادل الحراري من جهة وسيط التبريد في منطقة زيادة التسخين تكون أقل من درجة حرارة التكاثف لذلك تحصل عملية التكاثف على هذا السطح علما بأنه يتضمن جزءاً من البخار زائد التسخين بسبب عدم ملامسته لسطح التبادل الحراري .

و بكلمة أخرى يتم تكاثف ذرات البخار الزائد التسخين بشكل فوري حين ملامستها لسطح التبادل الحراري دون أن تنخفض درجة حرارتها .

يمكن كتابة علاقة الحمل الحراري للمكثف بشكل تقريبي بالشكل :

$$Q = Q_o + N_i \qquad (6 - 7)$$

إذ N_i الاستطاعة البيانية للضاغط .

تحسب الحرارة الوسطية اللوغاريتمية θ_t من العلاقة التالية :

$$\theta_t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{2.3 \log \frac{t - t_{w1}}{t - t_{w2}}} \qquad (6 - 8)$$

حيث :

t_{w1} : درجة حرارة دخول الماء .

t_{w2} : درجة حرارة خروج الماء .

t : درجة حرارة التكاثف .

عادة تتراوح قيمة θ_t بالنسبة للمكثفات ضمن المجال $\theta_t = 5 \,..\, 8\ ^oC$

تحسب قيمة معامل انتقال الحرارة الكلية للمكثفات ذات الأنابيب غير المريشة منسوباً للسطح الداخلي للأنابيب من العلاقة التالية :

$$K_{Fin} = \frac{1}{\frac{1}{a_a} \cdot \frac{d_{in}}{d_{out}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_w}} \qquad (6 - 9)$$

إذ :

α_a : معامل انتقال الحرارة من جهة وسيط التبريد $w / m^2 . k$.

d_{in} : القطر الداخلي للأنبوب .

d_{out} : القطر الخارجي للأنبوب .

$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$: مجموع المقاومات الحرارية للجدار و الطبقة المترسبة .

α_w: معامل انتقال الحرارة من جهة الماء .

عندما تكون عملية التكاثف على السطح الخارجي للأنابيب ذات طبيعة صفائحية يمكن تحديد قيمة α_a بالمعادلة :

$$\alpha_a = 0.72 \sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.\theta_a.d_{out}}} . n^{-1/6} \qquad (6 - 10)$$

إذ :

r (J/ kg) : حرارة التبخر لوسيط التبريد .

$\rho\ (kg / m^3)$: الكثافة .

$\lambda\ (w / m.^ok)$: معامل التوصيل الحراري .

$\mu\ (N / Sec.m^2)$: اللزوجة الديناميكية .

$g\ (m / Sec^2)$: تسارع الجاذبية الأرضية .

$\theta_a = t - t_s$: الفرق بين درجة حرارة التكاثف و درجة حرارة سطح الأنبوب الخارجي

عادة عندما $\theta_t = 5 .. 8\ ^oC$ يكون $\theta_a = 1 .. 2\ ^oC$

dout : القطر الخارجي للأنبوب .

n : عدد صفوف الأنابيب بالعمق عندما يكون التوضيع بشكل متواز و يؤخذ نصف عدد الصفوف في حالة التوضع الشطرنجي

في حالة كون البخار الداخل إلى المكثف زائد التسخين فإن قيمة r الواردة في العلاقة تستبدل بها القيمة $r` = i_s - i`$ حيث :

i_s : انتالبي البخار المحمص .

$i`$: انتالبي السائل المشبع .

تتكون المقاومات الحرارية في المكثفات العاملة على الأمونيا $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ من مقاومة طبقة الزيت المترسبة التي تصل سماكتها إلى $0.05 .. 0.08\ mm$ و معامل توصيلها الحراري $\lambda_{oil} = 0.12 \frac{W}{m.k^o}$ إضافة إلى مقاومات الترسبات الناتجة عن مياه التبريد التي تصل سماكتها إلى $\delta = 0.5 .. 1\ mm$ و معامل توصيلها الحراري إلى $\lambda = 1.5 \frac{W}{m.k^o}$.

أخيراً يجب مراعاة مقاومة جدار الأنبوب نفسه حيث تتبع سماكة جدار الأنبوب و قيمة معامل توصيله الحراري لنوع التصميم .

و بشكل عام تهمل قيمة المقاومة الحرارية لجدار الأنبوب نظرا لصغرها بالنسبة للمقاومة الناتجة عن زيت التزييت و الترسبات الداخلية .

معامل الانتقال الحراري في حالة الجريان المضطرب ما بين جدار الأنبوب و الماء يمكن تحديده من العلاقة التالية :

$$\alpha_W = N_{u_m} \cdot \lambda_m / d \qquad (6 - 11)$$

إذ :

N_{u_m} :عدد نسل ويتحدد بالعلاقة :

$$N_{u_m} = 0.021 \cdot R_{e_m}^{0.8} \cdot P_{r_m}^{0.43} \cdot \varepsilon_l$$

λ_m : معامل التوصيل الحراري لوسيط التبريد عند درجة حرارة التكاثف.

Re_m : عدد رنيولدز للجريان .

Pr_m : عدد براندل .

ε_l : معامل تصحيح يتبع للنسبة l / d (طول الأنبوب إلى قطره) و يؤخذ مساويا الواحد عندما $l / d > 50$.

عند تحديد α_W فإن الذي يلعب الدور الرئيس هو سرعة الماء w .

إن زيادة سرعة ماء التبريد تؤدي إلى زيادة α_W و بالتالي تؤدي إلى زيادة معامل الانتقال الحراري الكلي ويقل السطح المطلوب للمكثف F و أيضا فإن زيادة سرعة الماء تؤدي إلى زيادة الفقد الهيدروليكي و بالتالي تؤدي إلى زيادة الطاقة المصروفة لتدوير الماء لذلك نختار السرعة بحيث يحقق اقتصادية في العمل و السرعة الاقتصادية العملية تتراوح قيمتها $w = 1 \ldots 2.5$ m/sec . عند اختيار السرعة المناسبة للماء w فإنه يجب الأخذ بالحسبان ظروف العمل عند استعمال مياه قذرة فإذا كانت سرعة الماء صغيرة فإن هذا يؤدي إلى زيادة نسبة الترسب وبالتالي يؤدي ذلك إلى تقليل كثير لمعامل الانتقال الحراري .

لذلك عند استعمال مياه قذرة فإن سرعة الماء يجب أن لا تقل عن : 2 m / sec .

أيضا في المكثفات التي تستعمل تيار الماء بشوط واحد فإنه يمكن زيادة السرعة أكثر منه عند استعمال الماء بعدة أشواط بسبب زيادة الفقد الهيدروليكي في الحالة الثانية. بعد تحديد معامل الانتقال الحراري الكلي فإنه من الضروري التحقق من قيمة θ_a اللازمة لحساب α_a .

نحسب أولا الحمل الحراري النوعي للمكثف من العلاقة التالية :

$$q_{Fin} = K_{Fin} \cdot \theta_t = \alpha_a \cdot \theta_a \cdot (d_{out} / d_{in}) \qquad (6 - 12)$$

و منه :

$$\theta a = \frac{q_{Fin} \cdot d_{in}}{\alpha_a \cdot d_{out}} \qquad (6 - 13)$$

في حالة عدم تساوي قيم θ_a المفترضة في المعادلة (6 - 10) مع القيمة المحسوبة في العلاقة (6 - 13) فإنه يجب إعادة حساب α_a بافتراض قيمة أخرى لـ θa وإعادة حساب قيمة K إلى أن تتم المطابقة .

في حالة كون السطح الخارجي للأنابيب مريشاً عندها يحسب معامل الانتقال الحراري الكلي منسوباً للسطح الداخلي للأنبوب K من العلاقة التالية :

$$K_{Fin} = \frac{1}{\frac{F_{in}}{F_{out}} \cdot \frac{1}{\alpha_a} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \qquad (6 - 14)$$

إذ :

F_{in} : السطح الداخلي للأنبوب .

F_{out} : السطح الخارجي للأنبوب مع الريش .

F_{out} / F_{in} : نسبة تسمى بمعامل الترييش .

تراعي العلاقة (6 - 14) المقاومة الحرارية الناتجة عن وجود الأوساخ و الترسبات داخل الأنبوب فقط أما في الحالة التي يمكن فيها أن تتواجد الترسبات من كلا الجهتين الداخلية و الخارجية عندها تصبح العلاقة (6 - 14) على الشكل التالي :

$$K_{Fin} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_a} + \sum \frac{\delta_{out}}{\lambda_{out}}\right) \frac{F_{in}}{F_{out}} + \sum \frac{\delta_{in}}{\lambda_{in}} + \frac{1}{\alpha_w}} \qquad (6 - 15)$$

إذ :

$\sum \frac{\delta_{out}}{\lambda_{out}}$: مجموع المقاومات الحرارية الناتجة عن اتساخ السطح الخارجي للأنبوب المريش.

$\frac{\delta_{in}}{\lambda_{in}}$: مجموع المقاومات الحرارية الناتجة عن جدار الأنبوب و الأوساخ المتشكلة على السطح الداخلي .

تتحدد قيمة معامل الانتقال الحراري α_a من جهة الفريون المتكاثف على السطح الخارجي للأنابيب المريشة من العلاقة :

$$\alpha_a = 0.725.\sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.\theta_a.d_{out}}}.n^{-1/6}.\Psi_P \qquad (6-16)$$

إذ : Ψ_P عامل يأخذ بالحسبان اختلاف شروط التكاثف على كل من السطح الشاقولي للريش والسطح الأفقي للأقسام غير المريشة من الأنبوب ويحسب من العلاقة :

$$\Psi_P = 1.3.\frac{F_V}{F_{out}}\left(\frac{d_{out}}{h'_D}\right)+\frac{F_H}{F_{out}}$$

إذ : F_V و F_H مساحة السطوح الشاقولية والأفقية لأنبوب طوله 1 m .

$$F_v = \frac{\pi\left(D^2 - d_{out}^2\right)}{2}.\frac{1}{u} \qquad (6-17)$$

$$F_H = \pi.d_{out}\left(1-\frac{\delta_o}{u}\right)$$

D : قطر الريشة .

u : خطوة الريشة .

δ_o : سماكة الريشة عند قاعدتها .

d_{out} : القطر الخارجي للأنبوب .

$h`_P$: ارتفاع الريشة ويتحدد بالعلاقة التالية :

$$h'_p = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D^2 - d_{out}^2}{D}\right) \qquad (6 - 18)$$

يتم التحقق من قيمة θ_a المفترضة في العلاقة (6 - 16) بالنسبة للأنابيب الملساء (غير المريشة) كما يلي :

$$\frac{F_{out}}{F_{in}} .\alpha_a .\theta_a = K_{fin} .\theta_t$$

$$\alpha_a .\theta_a = K_{fin} .\theta_t . \frac{F_{in}}{F_{out}} \qquad (6 - 19)$$

نحسب قيمة α_a و نبدل القيمة الناتجة في المعادلة (14 - 6) حيث نحصل على K_{fin} ومن ثم نحسب :

$$q_{Fin} = K_{fin} .\theta_t$$

ونقارن النتيجة مع العلاقة (19 - 6) وفي حالة عدم التطابق نعيد الحسابات بافتراض قيمة جديدة ل θ_a كما فعلنا سابقاً .

يمكن حساب القيم q_{Fin} , K_{fin} ,α_a بالنسبة للأنابيب الملساء و المريشة بالطريقة البيانية .

ملخص الطريقة يعتمد على مبدأ و هو أن كمية الحرارة الناتجة عن تكاثف وسيط التبريد و التي تنتقل إلى سطح الأنبوب تساوي كمية الحرارة التي تمر عبر جدار الأنبوب و تمتصها مياه التبريد .

تتحدد قيمة التدفق النوعي للحرارة من وسيط التبريد إلى جدار الأنبوب الذي تجري عليه عملية التكاثف منسوبا للسطح الداخلي للأنبوب بالعلاقة التالية :

$$q_{a,Fin} = \alpha_a.(t - t_s).\frac{F_{out}}{F_{in}} = \alpha_a.\theta_a.\frac{F_{out}}{F_{in}} \qquad (6-20)$$

كما تتحدد قيمة التدفق الحراري النوعي من جدران الأنبوب إلى الماء بالعلاقة :

$$q_{w,Fin} = \frac{t_s - t_{w_m}}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{\theta_w}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (6-21)$$

يكون كل من t_s و θ_a في بداية الحسابات غير معلومتين و يمكن حل العلاقتين (20 – 6) و (21 - 6) معا بالطريقة البيانية مما يتطلب منا بناء المنحني البياني على محوري إحداثيات (q - θ) .

لكي نمثل العلاقة (20 – 6) بيانيا و مع ملاحظة أن قيمة α_a تتبع لقيمة θ_a لذا نقوم بالتعويض عن قيمة α_a في العلاقة (20 – 6) من العلاقة (10 - 6) فنحصل على $q_{a,Fin}$ للأنابيب الملساء :

$$q_{a,Fin} = 0.72\sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.d_{out}}}.n^{-1/6}.\theta_a^{3/4}\frac{d_{out}}{d_{in}} \qquad (6-22)$$

أما في حالة التكاثف على الأنابيب المريشة فنحصل على :

$$q_{a,Fin} = 0.725\sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.d_{out}}}.n^{-1/6}.\psi_p.\theta_a^{3/4}\frac{F_{out}}{F_{in}} \qquad (6-23)$$

حيث : F_{out} مساحة السطح الخارجي للأنبوب بما في ذلك مساحة الريش .

يمكن إيجاد جميع الحدود الداخلة في المعادلتين (23 - 6) و (22 - 6) ماعدا θ_a و ذلك من خلال معرفة شروط العمل .

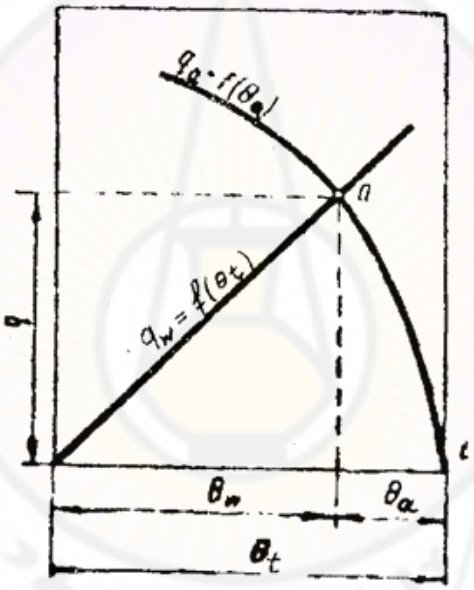
بعد ذلك يتم إعطاء عدة قيم لـ θ_a ضمن المجال $0 .. \theta_t$ و نحسب القيم الموافقة لـ q_a فنحصل على المنحني البياني الممثل للعلاقة $q_a = (\theta_a)$.

عادة تكون قيمة α_w غير تابعة لـ θ_w لذلك تكون المعادلة (21 -- 6) معادلة خطية و بالتالي يكفي إعطاء قيمتين اثنتين لـ θ_w (مثلا : θ_w=0 و θ_w=0.5).

فنحصل على نقطتين بوصلهما نحصل على الخط البياني ، (انظر الشكل 8 - 6)

في جميع الحالات يكون :

$$\theta_a + \theta_w = \theta_t \qquad (6 - 24)$$



الشكل (8 - 6)

تعبر النقطة a (نقطة تقاطع المنحنيين البيانيين) عن القيمة الحقيقية للتيار الحراري النوعي q_{Fin} في المكثف .

يحدد العمود النازل من النقطة (a) على محور السينات قطعتين مستقيمتين هما θ_a و θ_w

ويمكن بمساعدة المخطط البياني تحديد قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي من العلاقة:

$$K_{Fin} = q_{Fin} / \theta_t \qquad (6 - 25)$$

يمكن تحديد قيمة معامل الانتقال الحراري α_a من العلاقة :

$$\alpha_a = \frac{q_{Fin}}{\theta_a} \cdot \frac{F_{in}}{F_{out}} \qquad (6 - 26)$$

كما يمكن تحديد قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي و التدفق الحراري النوعي منسوبين للسطح الخارجي للأنابيب من العلاقتين التاليتين :

$$K_{Fout} = K_{Fin} \cdot F_{in} / F_{out} \qquad (6 - 27)$$

$$q_{Fout} = q_{Fin} \cdot F_{in} / F_{out} \qquad (6 - 28)$$

بعد الحصول على qFin و Kfin حسابيا أو بيانيا يمكن أن نحسب سطح المكثف من العلاقة (6 - 2) أو من العلاقة :

$$F_{in} = Q / q_{Fin} \qquad (6 - 29)$$

$$F_{in} = \pi \cdot d_{in} \cdot \ell \cdot n \cdot Z \qquad (6 - 30)$$

إذ :

d_{in} : القطر الداخلي للأنبوب (m).

ℓ : طول الأنبوب ما بين طرفي التعشيق .

n : عدد الأنابيب التي يمر فيها الماء باتجاه واحد .

Z : عدد الممرات (الأشواط) .

عند تحديد عدد الأنابيب فإنه يجب أخذ التصورات التالية بالحسبان:

إذا انطلقنا من مبدأ الاستخدام الأعظمي لحجم المكثف بهدف التقليل من الحجم العام للمكثف و من وزنه و من كمية الماء داخله عندها يفضل استعمال الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة .

إن استعمال الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة في حالة سطح محدد للمكثف يؤدي إلى زيادة عدد الأنابيب مع الإشارة إلى أن إمكان اتساخ الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة يكون أكبر مما لو استعملنا أنابيب بأقطار كبيرة مما يزيد من كلفة الصيانة. تؤخذ الأنابيب عادة بأقطار ٢,٥ × ٢٥مم، ٣ × ٢٠مم.

مما سبق نستنتج أنه إذا كانت مياه التبريد غير نقية فيفضل استعمال أنابيب بأقطار كبيرة.

طول الأنابيب يتحدد فقط بعد تحديد عدد مشاوير مياه التبريد لارتباطها ببعضها بعضاً، عادة يعطى عدد المشاوير ، أما طول الأنابيب فيحسب من العلاقة :

$$\ell = \frac{F_{in}}{\pi . d_{in} . n . Z} \qquad (6-31)$$

يحسب معدل تدفق مياه التبريد من العلاقة التالية :

$$G_w = \frac{Q}{c_w \left(t_{w2} - t_{w1} \right)} \qquad (6-32)$$

إذ : Q : الحمل الحراري للمكثف .

t_{w1} : درجة حرارة الدخول لمياه التبريد .

t_{w2} : درجة حرارة الخروج لمياه التبريد .

c_w : السعة الحرارية للماء .

يمكن إيجاد عدد الأنابيب n لمشوار واحد من العلاقة :

$$n = \frac{4 G_w}{\pi . d_{in}^2 . W . \rho} \qquad (6-33)$$

إذ :

w : سرعة الماء m / Sec .

ρ : كثافة الماء kg / Sec .

يتم تحديد الخطوة δ بين الأنابيب حسب الشروط المفروضة وبخاصة فيما يتفق والمسافات بين ثقوب غطاء التعشيق و طريقة التعشيق بين أنابيب المكثف و غطاء التعشيق . أنسب خطوة بين الأنابيب تحدد وفقا لقطر الأنبوب وفق العلاقة التالية :

$$\delta_{min} = 1.3\, d_{out} \qquad (6\text{-}34)$$

5 - 1 - 1 - 6 – الحسابات الحرارية للمكثفات الأنبوبية العمودية :

في المكثفات الأنبوبية العمودية يتكثف وسيط التبريد على السطح الخارجي للأنابيب الشاقولية أما مياه التبريد فتسيل ضمن الأنابيب بشكل حر على جدران الأنابيب الداخلية ، يمكن تحديد مساحة سطح التبادل الحراري لهذا المكثف من المعادلة (2 - 6) كما يمكن تحديد قيمة معامل الانتقال الحراري من العلاقة (9-6) .

تتبع قيمة معامل انتقال الحرارة ما بين وسيط التبريد و سطح الأنابيب الخارجي لنوعية جريان الطبقة المتكاثفة حيث يخضع نظام الجريان لسماكة الطبقة السائلة وطول قسم الأنابيب الذي تتم عليه عملية الجريان هذه .

نظام الجريان يمكن أن يكون صفائحياً أو مضطرباً وفي كثير من الأحيان يرافق الجريان الصفائحي جريان تموجي و ذلك يتبع لقوة التوتر السطحي بين السائل المتكاثف والبخار .

يمكن تحديد نوعية نظام الجريان للطبقة المتكاثفة من العلاقة التالية و التي تسمى علاقة كابيتشا:

$$R_{ew} = 0.56\left(\frac{\sigma}{\rho.g^{1/3}.\vartheta^{3/4}}\right)^{3/11} \qquad (6\text{-}35)$$

إذ : σ التوتر السطحي .

يكون الجريان صفائحياً إذا كان $R_e < R_{ew}$

يحسب معامل انتقال الحرارة من جهة وسيط التبريد حالة الجريان التموجي من العلاقة :

$$\alpha_a = 1.15\sqrt[4]{\frac{r.\rho^3.\lambda^3.g}{\mu.H.\theta_a}} \qquad (6-36)$$

العلاقة (5-36) تستخدم عندما يكون عدد رينولدز الموجي أصغر من عدد رينولدز الحرج، أي

$R_{ew} < R_{ecr}$.

حيث :

H : ارتفاع الأنبوب (m)

R_{ecr} : عدد رينولدز الحرج الذي ينتقل عنده الجريان إلى جريان مضطرب أي:

$R_{ecr} \geq 400$

ارتفاع الأنبوب H_x الذي ينقلب عنده الجريان إلى جريان مضطرب يوجد عند $R_e = R_{ecr} = 400$ من العلاقة التالية :

$$R_e = \frac{q.H_x}{r.\rho.\vartheta} \qquad (6-37)$$

إذ :

H_X : ارتفاع الأنبوب و يمكن إيجاده عندما ينقلب الجريان إلى جريان مضطرب $R_e = R_{ecr} = 400$

q : القيمة الوسطية للتيار الحراري على قسم الأنبوب من 0 و حتى x .

في الحالة التي يكون عندها الجريان مضطرب أي : $R_e > R_{ecr}$

عندها يحسب معامل انتقال الحرارة α_a من العلاقة التالية :

$$\alpha_a = 0.16\lambda\left(\frac{q}{v^2}\right)^{1/3}.\left(\frac{R_e.P_r^{1/3}}{R_e - 100 + 63P_r^{1/3}}\right) \qquad (6-38)$$

لتحديد قيمة معامل انتقال الحرارة ما بين جدار الأنبوب و طبقة الماء التي تسيل على جدران الأنبوب الداخلية عندما $R_e < 2000$ نستخدم العلاقة :

$$N_{um} = 0.67\left(G_a^{\,2}.P_{r_m}.R_{e_m}\right)^{1/9} \qquad (6-39)$$

و عندما $R_e > 2000$ نستخدم العلاقة :

$$N_{um} = 0.01\left(G_a.P_{r_m}.R_{e_m}\right)^{1/3} \qquad (6-40)$$

مع ملاحظة أنه يتم تحديد القيم الداخلة في المعادلتين (39 - 6) و (40 - 6) عند درجة حرارة وسطية لطبقة الماء أي عند :

$$t_m = 0.5\,(t_W + t_S)$$

و لكن نظرا لكون θ_t و θ_a صغيرتان فإنه يمكن افتراض درجة حرارة الماء اللازمة للمعادلتين (39 - 6) و (40 - 6) مساوية الدرجة الوسطية مابين دخول و خروج الماء.

يرتبط عدد نسلت مع معامل انتقال الحرارة من جهة الماء بالعلاقة التالية :

$$N_{um} = \alpha_W \,.\, H / \lambda_W \qquad (6-41)$$

إذ :

H : ارتفاع الأنبوب (m)

α_W : معامل انتقال الحرارة لطبقة الماء السائلة على جدران الأنبوب .

λ_W : معامل التوصيل الحراري للماء .

يحسب عدد رينولدز بالعلاقة :

$$R_e = 4\Gamma / \mu_W \qquad (6-42)$$

إذ :

$\Gamma = G / (\pi.d_{in}.n)$: تصريف السائل على كل متر من محيط الأنابيب kg/m.Sec

μ_W : معامل اللزوجة الديناميكية kg/m.Sec

G : تصريف السائل على كل انبوب kg/Sec

d_{in} : القطر الداخلي للأنبوب .

n :عدد الأنابيب .

يحسب عدد غاليله G_a من العلاقة :

$$G_a = g \cdot H^3 / \nu_\omega^2 \qquad (6 - 43)$$

في المعادلة (36 - 6) يجب إجراء عملية مطابقة للحد θ_a كما في حالة المكثفات الأنبوبية الأفقية كذلك يمكن استعمال الطريقة البيانية نفسها في حساب المكثفات العمودية .

6 - 1 - 2 – مكثفات الغمر و المكثفات التبخرية : Flooded & Evaporative Condensers

مكثفات الغمر (الترطيبية) :

يبين الشكل (9 - 6) مكثفاً للأمونيا من هذا النوع و يتألف من عدة مقاطع من الأنابيب المتعرجة . يتألف كل قطاع من (14) أنبوباً أفقياً بقطر 3.5 mm × 57.

تدخل أبخرة الأمونيا عبر الفوهة (2) إلى المجمع التوزيعي (3) ومنه إلى الأنابيب السفلية للقطاع.

أثناء الحركة باتجاه الأعلى يتكاثف بخار الأمونيا و يطرح عبر مآخذ بينية في الأنبوب الشاقولي (الصاعد) (6) و منه يصب في المجمع (4) الذي يتصل بالجزء العلوي للمكثف بوساطة انبوب السوية (5) .

إن تغذية بخار الأمونيا للأنابيب السفلية للقطاع يجنب وصول الزيت إلى الأنابيب العلوية و يقلل من مقاومتها الحرارية. الأخذ البيني للأمونيا المتكاثفة من الأنابيب (الرابع و الثامن و العاشر و الثاني عشر) لكل قطاع يجنب غمر الجزء السفلي للأنابيب المتعرجة، و هذا يؤدي إلى ازدياد شدة النقل الحراري .

الماء يدفع بوساطة مضخة إلى خزان (1) و بعده إلى مزاريب توزيع ذات مقطع مثلث متوضعة فوق كل قطاع .

يتصبب الماء من أطراف المزاريب و يبلل الأنابيب بشكل متجانس و يصب بعد ذلك في حوض تجميع .

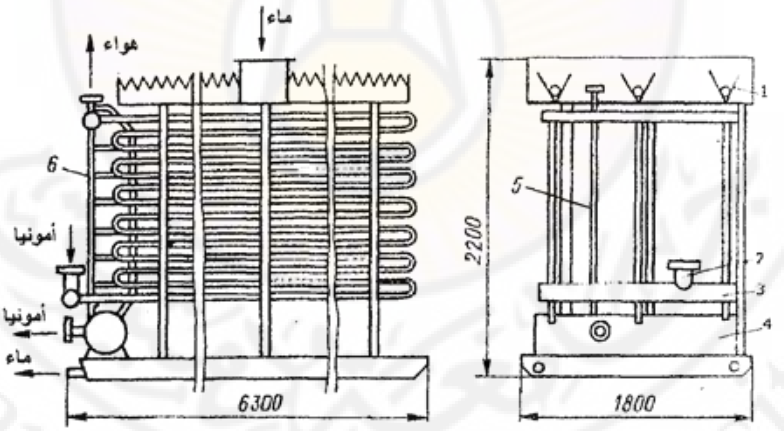
يتم طرح جزء من المياه الموجودة في حوض التجميع عبر أنبوبة التصريف أما الجزء المتبقي من المياه فيعاد ضخه من حوض التجميع بعد إضافة مياه جديدة عليه إلى الموزع أو المزراب الكائن في أعلى المكثف لإعادة توزيع مياه التبريد وهكذا....

مصروف مياه التبريد بما في ذلك المياه الجديدة لكل مقطع تشكل (10 .. 12 m^3/h). بهدف الاقتصاد بمياه التبريد الجديدة يبنى بقرب المكثف نظام تبريد مائي (بركة أو برج تبريد) .

تصل قيمة الحمل الحراري النوعي لهذا النوع من المكثفات (4100 .. 4500 w/m^2)، وكتلته نحو (40 .. 45) كيلوغراماً لكل 1 m^2 من سطح الانتقال الحراري .

من محاسن هذا النوع من المكثفات أن مصروفها للماء أقل بالمقارنة مع المكثفات الصندوقية ، المصروف النوعي للمعدن أقل ، البساطة في التصنيع والوثوقية بالعمل.

ومن أهم مساوئ هذا النوع من المكثفات ضخامتها ، ضرورة تركيبها في الفضاء المفتوح ، ضرورة العناية الدقيقة بنظام توزيع الماء، الاتساخ الزائد لمياه الترطيب.



الشكل (9 - 6) مكثف الغمر.

المكثف التبخيري :

في المكثف التبخيري يتم تدفق الهواء بشكل قسري من الأسفل باتجاه الأعلى الشكل(10– 6) وبشكل معاكس لاتجاه حركة المياه المنسابة على سطوح الأنابيب.

تدخل أبخرة الأمونيا إلى الأنبوب (2) وبعد ذلك تمر عبر فاصل زيت وتوجه إلى مقطع المكثف (5) . الأمونيا السائلة تطرح من الجزء السفلي للمقطع إلى خزان.

تؤخذ المياه من حجرة التصفية (7) بوساطة مضخة (6) وتدفع إلى جهاز ترطيب(٤) وهو أنبوب مع فالات أو فتحات . المياه المرذذة تسيل إلى الحوض مبللةً بذلك السطح الخارجي للمقطع الأساسي . جزء من المياه يتبخر ويُحمل بتيار الهواء المعاكس المتحرك بفعل المروحة (1) ، للتعويض عن المياه المتبخرة تدخل مياه جديدة إلى الحوض عبر صمام التنظيم العوامي (8) .

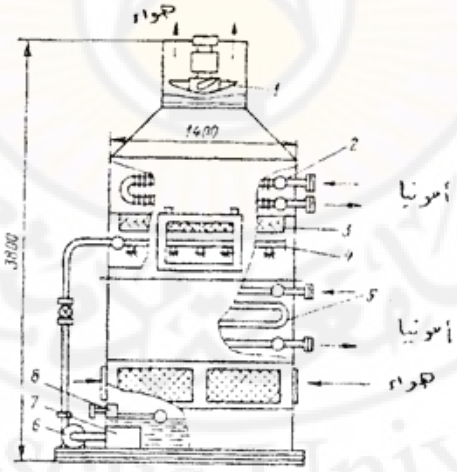
يتم في الأنبوب (2) تبريد وسيط التبريد حتى حالة قريبة من الإشباع ، ويتم أيضاً تكاثف أبخرة الزيت وتجمع القطرات الصغيرة جداً إلى قطرات أكبر ، ولذلك يوضع فاصل زيت بعد أنبوب التكاثف (2) .

للتقليل من كمية القطرات(الرطوبة) المحمولة بالهواء يوضع فاصل قطرات (3).

من محاسن هذا النوع من المكثفات أن كمية مياه التعويض الجديدة غير كبيرة، حجمه صغير، إمكان استخدامه في آلات التبريد للنقل .

أهم مساوئ المكثف التبخيري تكمن بانخفاض معامل الانتقال الحراري نسبياً.

قيمة شدة التيار الحراري تتعلق بشكل كبير بحالة الهواء المحيط وتقع وسطياً ضمن المجال ($2300\ w/m^2$ .. 1400) عند فرق درجات حرارة ($3\ ^oC$) .



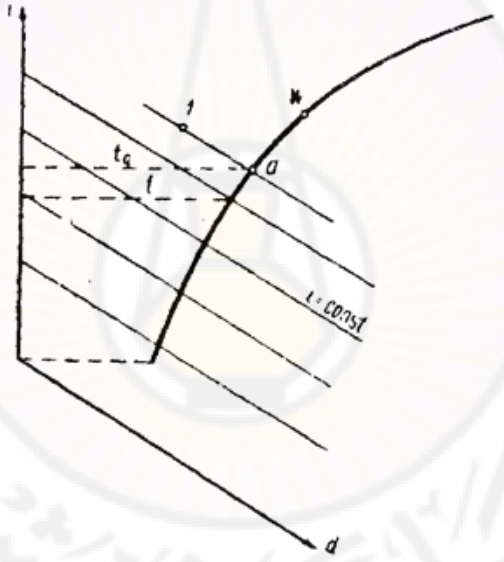
الشكل (10 - 6) مكثف تبخيري

1 -2 -1 - 6 – الحسابات الحرارية لمكثفات الغمر والمكثفات التبخرية :

في مكثفات الغمر يتم طرح جزء من الحمل الحراري إلى الوسط الخارجي مباشـــرة ولذلك فإن اختيار درجة الحرارة الوسطية للماء الذي يسيل فوق سطح المكثـف يأخـذ دوراً جوهرياً عند إجراء الحسابات الحرارية .

عند درجة حرارة محددة معطاة للهواء المحيط تكون درجة الحرارة الوسطية للميـاه أعلى من درجة الحرارة الرطبة للهواء ، لذلك فإنه عند درجة حرارة وسطية للماء تساوي أو قريبة من درجة الحرارة الرطبة لا تتم أي عملية تبادل حراري كتلي، تؤخذ درجة الحـرارة الوسطية لمياه الغمر في مكثفات الغمر من (4 .. 6 ^{o}C) أعلى من الدرجة الرطبة.

الدرجة الرطبة يمكن إيجادها من المخطط (i - d) الشكل (11 - 6) كمايلي :



الشكل (11 - 6)

تحدد النقطة (1) خواص الهواء الخارجي حيث نقوم مـن هـذه النقطـة برسـم المستقيم. i = const حتى يتقاطع مع منحني الرطوبة النسبية $\varphi = 1$ في النقطة a .

يمكن تحديد مساحة سطح المكثف من المعادلة (2 - 6) أما فرق درجات الحـرارة فيحسب كوسط حسابي .

بما أن عملية التكاثف تتم داخل الأنابيب لذا يعطى معامل انتقال الحرارة من جهـــة وسيط التبريد بالعلاقة التالية :

للفريون :

$$\alpha_a = 0.72\sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu \cdot \theta_0 .d_{in}}} \qquad (6-44)$$

للأمونيا :

$$\alpha_a = 21000\ \theta_a^{-0.167}.d_{in}^{-0.25}$$

لتحديد معامل انتقال الحرارة من جهة الماء نستعمل العلاقة التالية :

عندما تكون نسبة خطوة الأنابيب إلى قطرها $S/d = 1.7 .. 2$

$$N_{u_m} = 0.024.R_{e_m}^{0.73}.P_{r_m}^{0.4} \qquad (6-45)$$

أما عندما تكون $S/d = 1.3$ فنستعمل العلاقة :

$$N_{u_m} = 0.01.R_{e_m}^{0.9}.P_{r_m}^{0.4} \qquad (6-46)$$

في كل من العلاقتين (6 - 45) و (6 - 46) نحسب عدد رينولدز بالعلاقة :

$$R_{e_m} = \frac{4w.b}{\upsilon} \qquad (6-47)$$

حيث b : سماكة الطبقة المائية (m)

أما سرعة الماء w فتحسب من العلاقة التالية :

$$w = \frac{\Gamma}{2b.\rho} \qquad (6-48)$$

تتحدد سماكة طبقة الماء (b) في حالة الجريان التموجي بالعلاقة :

$$b = 0.63\frac{\mu.\Gamma}{\rho^2} \qquad (6-49)$$

إذ:

Γ : تصريف السائل على طول متر واحد kg/Sec.m

μ : اللزوجة الديناميكية kg/Sec.m

ρ : الكثافة kg/m^3

المقاومة الحرارية الداخلة في العلاقة (9 - 6) تتكون في حالتنا هذه من المقاومة الحرارية لطبقة الدهان $\delta = 0.1$ mm ، $\lambda = 0.58$ W/m.K° و المقاومة الحرارية لجدار الأنبوب . وفي مكثفات الأمونيا يجب أن يؤخذ بالحسبان المقاومة الحرارية لطبقة زيت التزييت داخل الأنابيب إضافة إلى طبقة التكلس الناتجة عن مياه التبريد.

إذا كان سطح التبادل الحراري للمكثف مزود بريش فإن المحيط الذي تغمره المياه يكبر مما يؤدي إلى التقليل من قيمة Γ عند ذلك يمكن حساب معامل انتقال الحرارة الكلي من العلاقة :

$$K_{Fin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_w}\cdot\frac{d_{in}}{d_{out}} + \frac{F_{in}}{F_{in}+F_{out}}\cdot\sum\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_a}} \qquad (6-50)$$

إذ : Fout – مساحة السطح الخارجي للأنبوب بما في ذلك مساحة الريش.

$\alpha`_w$ – معامل الانتقال الحراري للماء منسوباً للسطح الخارجي غير المريش للأنبوب ($F_0$) . يمكن إيجاد قيمة $\alpha`_W$ الواردة في العلاقة (50 - 6) بالنسبة للأنبوب المريش من العلاقة :

$$\alpha'_w = \alpha_w \left(\frac{F_{out}}{F_o} . E + \frac{F_t}{F_o} \right) \qquad (6 - 51)$$

إذ :

α_W : معامل الانتقال الحراري الحقيقي ويحسب باستخدام العلاقتين (45 - 6) و (46-6)

$F_{out} = Fp + F_t$

Fp : مساحة الريش لطول واحد متر من الأنبوب .

$F_t = \pi.d - n\delta$: مساحة الجزء الغير مريش لطول واحد متر من الأنبوب .

$E = \theta_p/\theta_o$: معامل الريش يحسب بواسطة المقاسات h , m التي تعطى من مخططات خاصة.

θ_p : درجة الحرارة الوسطية للجزء البارز (سن الريشة) من الريش .

θ_o : درجة الحرارة لقاعدة الريشة .

يحدد المعامل m بالعلاقة :

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_w}{\lambda_p . \delta_p}} \qquad (6 - 52)$$

إذ :

h : ارتفاع الريشة .

λ_p : معامل التوصيل الحراري لمعدن الريش .

δ_p : سماكة الريشة .

بعد تحديد قيمة K_{fin} نوجد السطح Fin من العلاقة (2 - 6) ومن ثم السطح F_{out}.

بعد حساب F_{out} يمكننا حساب كمية الحرارة Q_B المنتقلة إلى الماء وكمية الحرارة المنتقلة عن طريق التبادل الحراري الكتلي مع الوسط الخارجي إضافة إلى كمية المياه المتبخرة G_W .

تحسب كمية الحرارة Q_B من العلاقة :

$$Q_B = F_{out} \cdot \sigma.\beta(i''_m - i_o) \qquad (6 - 53)$$

إذ :

σ : معمامل التبخر .

β : معامل يأخذ بعين الأعتبار زيادة سطح التبخر نتيجة التيار المتشكل بين الأنابيب وعادة $\beta = 2$.

i''_m : أنتالبي الهواء عند الإشباع الكامل وعند درجة الحرارة t_m

i_o : أنتالبي الهواء الخارجي .

يحسب معامل التبخر من العلاقة :

$$\sigma \approx 4\ \alpha_B \qquad (6 - 54)$$

إذ :

α_B معامل الانتقال الحراري عند انعدام وجود رطوبة متبخرة وباعتبار أن مكثفات الغمر تركب في الأماكن المفتوحة (المهواة) لذا تكون حركة الهواء غير مقيدة وبالتالي تتراوح قيمة المعامل α_B ضمن المجال ($17 .. 35\ w/m^2.k^o$).

تتحدد كمية المياه المتبخرة بالعلاقة التالية :

$$G_W = F_{out} \cdot \sigma.\beta(d''_s - d_o) \qquad (6 - 55)$$

إذ :

d''_s : كمية الرطوبة الموجودة في الهواء عند سطح التبخر (تحدد عند درجة الحرارة t_s وفي حالة إشباع كامل) .

d_o : كمية الرطوبة في هواء الوسط الحر .

تأخذ معادلة الموازنة الحرارية للمكثف الشكل (12 - 6) الشكل التالي :

$$Q + C.G.t_1 = Q_B + C(G - G_W)\ t_2 \qquad (6 - 56)$$

إذ :

Q : الحمل الحراري للمكثف .

G : كمية المياه التي تغمر المكثف وتتراوح عادة في المجال (0.5 .. 1 kg/Sec) لكل واحد متر طول من الأنابيب .

t_1 : درجة حرارة الماء عند دخوله إلى الموزع .

t_2 : درجة حرارة الماء في وعاء التجميع .

عادة تزداد درجة حرارة المياه أثناء سيلانها على أنابيب المكثف بمقدار
(2 .. 3 ^{o}C) و منه يمكن كتابة :

$$t_1 = t_m - \Delta t/2 \qquad (6 - 57)$$
$$t_2 = t_s + \Delta t/2$$

من المعادلة (6 - 57) نحدد قيمة G أي :

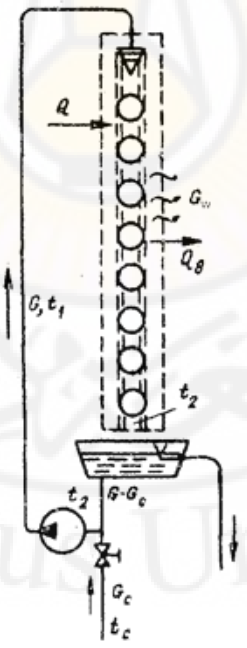
$$G = \frac{Q - Q_B + G_w . t_2}{t_2 - t_1} \qquad (6 - 58)$$

كما يحسب معدل تصريف الماء للمتر الطولي من الأنابيب من العلاقة :

$$\Gamma = G / \ell \qquad (6 - 59)$$

إذ : ℓ طول انبوب واحد .

مع ملاحظة أنه يفضل اختيار طول الأنبوب بحيث تبقى قيمة Γ ضمن المجال
. 0.5 - 1 kg / Sec.m



الشكل (12 - 6)

عند زيادة القيمة Γ يتطلب ذلك زيادة الإستطاعة المصروفة لتدوير الماء أما عند تصغير Γ فإن كمية الماء تكون غير قادرة على غمر المكثف بشكل جيد .

تتحدد كمية مياه التعويض الطرية من العلاقة :

$$G_c = \frac{t_1 - t_c}{t_2 - t_c} . G \qquad (6 - 60)$$

عادة تختار درجة حرارة مياه التعويض t_c بحيث تحقق النسبة $G_c/G = 0.2$ .. 0.3 مع الإشارة إلى أن تغيير درجة الحرارة الوسطية للماء لا يؤثر فقط على كمية مياه التعويض بل يمكن أن يغير من قيمة ضغط التكاثف و أن يؤثر بالتالي على نظام عمل آلة التبريد .

مما سبق نستنتج أن اختيار قيمة t_m يجب أن يبنى على أساس تحليل اقتصادي جيد.

إذا كانت كمية المياه المتبخرة G_W فإنه يمكن كتابة الموازنة التالية :

$$\frac{Q_B - G_w . t_c}{Q} = \frac{Q_v}{Q} \qquad (6 - 61)$$

إذ : t_c . G_W :كمية الحرارة المحمولة مع الماء الطري عند التعويض عن الماء المبتخر .

في المكثفات التبخرية يتم صرف كمية من الماء إلى الخارج للمحافظة على نسبة ملوحة معينة لذلك تساوي كمية مياه التعويض إلى كمية الماء المتبخرة وكمية المياه المطروحة .

تؤخذ درجة الحرارة الوسطية لمياه التبريد أعلى من درجة حرارة التكاثف لوسيط التبريد في المكثف بحدود ^oC 10 .. 8 ويمكن حساب سطح التبادل الحراري ما بين مياه التبريد ووسيط التبريد كما في حالة مكثفات الغمر .

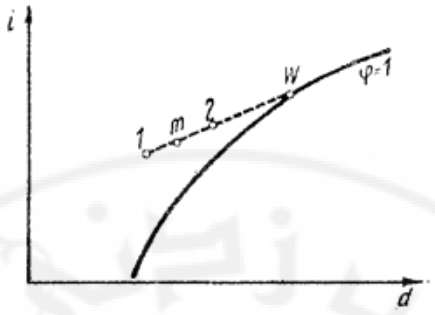
تتحدد كمية المياه المتبخرة بالعلاقة :

$$G_W = G_B . (d_2 - d_1) \qquad (6 - 62)$$

إذ :

G_B : التدفق الكتلي للهواء المار عبر المكثف .

d_1 , d_2 : الرطوبة المطلقة للهواء عند الخروج والدخول .



الشكل (13 - 6)

يبين الشكل (13 - 6) تغير حالة الهواء عند مروره عبر المكثف .

تكتب معادلة التوازن الحراري للمكثف بالشكل :

$$Q = G_B (i_2 - i_1) = F_{out} . \sigma . \beta (i``_m - i_m) \qquad (6 - 63)$$

إذ :

i_m : القيمة الوسطية لأنتالبي الهواء في المكثف أنظر الشكل (13 - 6)

نظراً للفرق الكبير بين i_1 و i_2 لا يمكن أن نعد:

$$i_m = (i_1 + i_2) / 2$$

في هذه الحالة يمكن إعادة كتابة العلاقة (63 - 6) بشكل تفاضلي كمايلي :

$$dQ = G_B . di = \sigma . \beta (i``_m - i_1).d_{Fout} \qquad (6 - 64)$$

ومنه يمكن كتابة :

$$F_{out} = \frac{G_B}{\sigma.\beta} . \ell n \frac{i''_m - i_1}{i''_m - i_2} \qquad (6 - 65)$$

إذا كانت قيمة السطح المحسوب بالعلاقة (65 - 6) مطابقة للقيمة التي نحصل عليها من شروط التبادل الحراري بين الماء ووسيط التبريد فيمكن أن نعد عند ذلك الحساب منتهياً أما في حال عدم التطابق فإنه يجب تغير قيمة درجة الحرارة الوسطية t_m ونعيد الحساب من جديد إلى أن يتم التطابق.

2 - 6 – المكثفات الهوائية : Air Cooled Condensers

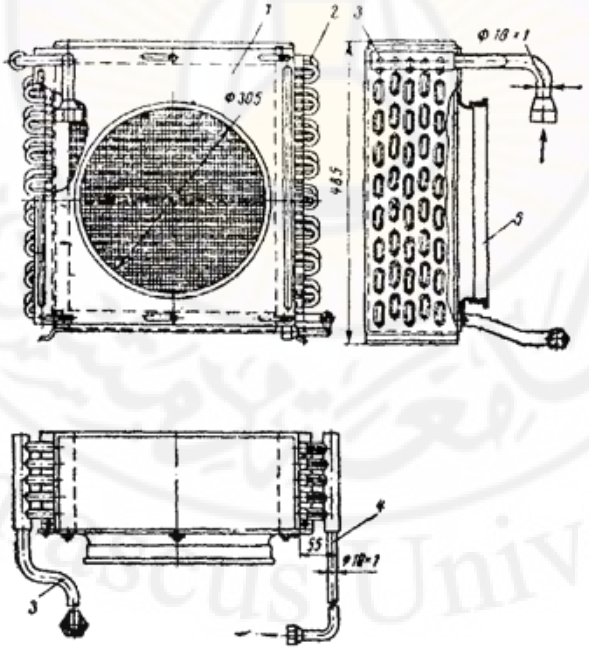
تتألف المكثفات الهوائية من أنابيب مريشة يتم تهويتها (تبريدها) قسرياً بوساطة مروحة .

يبين الشكل (14 - 6) مكثف هوائي لآلة تبريد صغيرة الإنتاجية ويتألف من إطار خارجي (1) تتوضع في داخله أنابيب نحاسية مريشة بشكل أفقي ، تتصل هذه الأنابيب مع بعضها البعض بواسطة وصلات حلزونية منساء (2) .

يدخل بخار وسيط التبريد عبر المجمع (3) ويخرج وسيط التبريد المتكاثف من المجمع (4) . تتم تهوية السطح الخارجي للأنابيب بواسطة مروحة عبر الفتحة (5) .

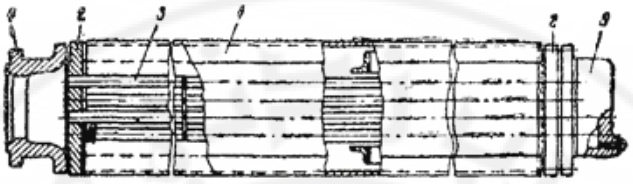
يبين الشكل (15 - 6) جزء من مكثف هوائي لآلة تبريد ضخمة إنتاجيتها التبريدية 1500 KW.

يتألف هذا الجزء من إطار محيطي (1) يحتوي على أنابيب مريشة (3) .



الشكل (14 - 6)

يدخل بخار وسيط التبريد عبر المجمع (4) ليتكاثف ضمن الأنابيب ومن ثم يخرج عبر المجمع (5).



الشكل (15 - 6)

تحت الجزء المبين في الشكل توجد مروحة تقوم بنفخ الهواء من الأسفل نحو الأعلى.

عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي عالية جداً فإنه يتم ترذيذ كمية من المياه ضمن تيار الهواء وذلك لتخفيض درجة حرارة الهواء وبالتالي تخفيض درجة حرارة التكاثف. عادةً تساوي قيمة معامل التربيش بالنسبة للمكثفات الهوائية المستعملة في الصناعة إلى $F_{out}/F_o > 10$ إذ F_{out} مساحة سطح التربيش ، F_o مساحة السطح الأملس للأنبوب .

6 - 2 - 1 – الحسابات الحرارية للمكثفات الهوائية :

من أجل تحديد مساحة السطح الداخلي للأنابيب حسب المعادلة (2 - 6) فإنه يجب أن نحسب معامل الانتقال الحراري الكلي من العلاقة :

$$K_{Fout} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{F_{in}}{F_{in}+F_{out}} \cdot \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{d_{in}}{\alpha_B . d_{out}}} \qquad (6 - 66)$$

تحسب قيمة معامل الانتقال الحراري من جهة وسيط التبريد α_a كما مر معنا سابقاً أما قيمة معامل الانتقال الحراري α_B من جهة الهواء بالنسبة للسطح الغير مريش فتحسب من العلاقة (51 - 6) بعد استبدال α_W بـ α_B .

في حالة جريان الهواء على حزمة أنابيب ذات ريش مستديرة فإن α_B تكون منسوبة للسطح الكامل للأنبوب المريش ويمكن حسابه من العلاقة :

$$N_{u_m} = C.C_s.C_Z\left(\frac{d_{out}}{u}\right)^{-0.54}.\left(\frac{h}{u}\right)^{0.14}.R_e^m.\psi \qquad (6-67)$$

إذ :

C_S : عامل يعبر عن وضعية الأنبوب في الحزمة .

d_{out} : القطر الخارجي للأنبوب .

u : خطوة الريش .

h ارتفاع الريشة .

ψ : معامل يراعي عدم توازن معامل الانتقال الحراري بسبب ارتفاع الريش ويساوي إلى :

$$\psi = 1 - 0.58\ m.h$$

من أجل أنابيب متوضعة بشكل شطرنجي $C = 0.25$ ، $m = 0.65$

$$C_s = \frac{S_1 - d_{out}}{S_2' - d_{out}}$$

إذ : $S`_2$: الخطوة القطرية للأنابيب

S_1 : خطوة الأنبوب .

تتحدد قيمة C_Z لحزمة الأنابيب الشطرنجية حسب عدد صفوف الأنابيب Z وفق الجدول التالي:

z	1	4	6	8	10	16	20
C_Z	0.8	0.95	0.98	0.99	1	1.015	1.025

للأنابيب المتوازية يؤخذ $C = 0.105$ ، $m = 0.72$

$$\frac{S_2'}{d_{out}} \geq 2$$

عندما $C_S = 1$

$\frac{S_2'}{d_{out}} < 2$ عندما $C_S = f(S_2/d_{out})$

$\frac{S_2'}{d_{out}} = 1.8$ عندما $C_S = 0.96$

$\frac{S_2'}{d_{out}} = 1.4$ عندما $C_S = 0.85$

كما تتحدد قيمة C_Z بالنسبة للأنابيب المتوازية حسب الجدول التالي :

z	1	2	3	4
C_Z	1.6	1.3	1.1	1

في المعادلة (6 - 67) للحزم الشطرنجية عندما :

$h / u = 0.36 .. 5$, $d_{out} / u = 2.4 .. 3.5$, $R_e = 300 .. 2500$

$C_S = 0.46 .. 2.18$

من أجل الحزمة المتوازية عندما :

$h / u = 0.36 .. 4.3$, $d_{out} / u = 3 .. 8$, $R_e = 500 .. 25000$

تتحدد مساحة المقطع الذي نحسب عنده السرعة w والتي تدخل في عدد رينولدز بالعلاقة :

$$f_g = \left[1 - \frac{d_{out}}{S_1}\left(1 + 2\frac{h}{u}.\frac{\delta_p}{d_{out}}\right)\right] f_i \qquad (6 - 68)$$

إذ : fi : مساحة المقطع العريض الحر :

يساوي عدد نسل بالنسبة للأنابيب المتوازية ذات الريش الصفائحية إلى :

$$N_u = C.R_e^m \left(\frac{L}{d_e}\right)^n \qquad (6 - 69)$$

إذ :

$$N_u = \frac{\alpha_B . d_e}{\hat{\lambda}_B} \quad ; \quad R_e = \frac{\alpha_B . d_e}{\upsilon_B}$$

يحسب القطر المكافئ d_e الداخل في العلاقة (6 - 69) من المعادلة التالية :

$$d_e = \frac{2(S - d_{out})(u - \delta_p)}{(S - d_{out}) + (u - \delta_p)} \qquad (6 - 70)$$

إذ :

$S = S_1 = S_2$: خطوة الأنابيب وتساوي إلى 3 .. 2 mm .

δ_p : سماكة الريشة وتساوي إلى 0.5 .. 0.2 mm

$$\frac{S_1}{d_{out}} = \frac{S_2}{d_{out}} = 2$$

كما أن :

تعدّ المعادلة (6 - 69) صالحة لحالة الأنابيب المتوازية عندما :

$R_e = 500 .. 1600$ ، $S / d_{out} = 2 .. 5$ ، $u / d_{out} = 0.18 .. 0.35$ ،

$L/d_e = 4 .. 50$ ، $t_l = -40..40\ ^oC$

تحدد القيم n و m من المعادلتين التاليتين :

$$n = 0.45 + 0.0066.L/d_e \qquad (6 - 71)$$

$$m = -0.28 + 0.08.R_e/1000 \qquad (6 - 72)$$

يتحدد العامل C بالعلاقة : $C = A \times B$ حيث :

$$B = 1.3 - 0.24.R_e/1000$$

أما A فتعطى حسب الجدول التالي :

L/d_e	5	10	20	30	40	50
A	0.412	0.326	0.201	0.125	0.08	0.0475

في حالة التوضع الشطرنجي للأنابيب فإن α_B تحسب بالمعادلة (6 - 69) مع إضافة 10% على القيمة المحسوبة بالمعادلة المذكورة .

في حالة كون الأنابيب مريشة بريش ملصقة على الأنبوب وليست ذاتية فإنه يضاف إلى المقاومات الحرارية $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ الواردة في المعادلة (9 - 6) مقاومة التماس R_c بسبب عدم إحكام التماس بين سطح الأنبوب وقاعدة الريشة فإذا كان السطح مغطى بطبقة إلصاق فتؤخذ $R_c = 0.0066$ أما إذا كان مدهوناً بمادة دهان لاصقة فتؤخذ $R_c=0.0107$.

يؤخذ فرق درجات الحرارة ما بين درجة الحرارة الوسطية للهواء ودرجة حرارة التكاثف للمكثفات الهوائية يتراوح ما بين ^oC 20 .. 10 حيث يعتمد تحديد هذا الفرق لاعتبارات اقتصادية.

عندما يكون معامل الريش كبيراً إذ إن مساحة الريش تزيد بعشر مرات أو أكثر من مساحة سطح الأنبوب عندها تهمل قيمة التبادل الحراري بين الهواء والجزء الغير مريش من سطح الأنبوب إذ يعطى معامل انتقال الحرارة ما بين السطح الخارجي للأنبوب والهواء منسوباً للسطح الداخلي للأنبوب بالعلاقة :

$$\alpha'_B = \alpha_B \left(\frac{F_{out}}{F_o} E \right)$$

إذ : E – فعالية الريش .

3 - 6 – اختيار المكثفات المائية: Selection of Water Cooled Condensers:

للقيام باختيار الطراز المناسب من المكثفات المائية يجب توافر المعلومات التالية :

١. استطاعة المكثف
٢. درجتي حرارة التكاثف والتبخر
٣. درجة حرارة خروج الماء من المكثف أو غزارة الماء
٤. نوع الماء وعامل تشكل القشور والترسبات

يتضمن الملحق (3) المواصفات الهندسية واستطاعة المكثفات ذات الممرين أو أربعة ممرات، ويعتمد الجدول على درجتي حرارة التكاثف ($40^oC,39^oC$). أما ارتفاع درجة حرارة الماء في المكثف 10^oC لأجل درجة حرارة تكاثف 39^oC و 5^oC لأجل درجة حرارة تكاثف 40^oC.

مثال :

اجر اختياراً لمكثف فريون R12 ليناسب الشروط التالية :

- استطاعة الضاغط (من النوع المفتوح) 105Kw
- درجة حرارة التكاثف $38^{o}C$
- درجة حرارة التبخر $-1^{o}C$
- الماء المتوفر هو ماء نهر نظيف بغزارة 0.036 l/s لكل 1Kw بدرجة حرارة $25^{o}C$.

الحل :

من الملحق (1) نجد عامل طرح الحرارة (Heat Rejection Factor) للضواغط المفتوحة عند درجة حرارة تبخر $-1^{o}C$ ودرجة حرارة تكاثف $38^{o}C$ فيكون 1.17. أي أن كل 1Kw استطاعة تبريدية يقابلها 1.17 Kw في المكثف .

استطاعة المكثف :

Q_C = عامل طرح الحرارة × استطاعة الضاغط

$Q_C = 105 \times 1.17 = 122.9$ Kw

التدفق الكتلي للماء :

$\dot{m} = 122.9$ kw × 0.036 l/s.Kw = 4.42 l/s ≈ 4.42 Kg/s

معدل ارتفاع درجة حرارة الماء في المكثف :

$$\Delta t = \frac{Q_C}{\dot{m} c_p} = \frac{122.9 \text{kw}}{(4.19 KJ/Kg.k)(4.42 l/s)} = 6.64 K$$

درجة حرارة خروج الماء من المكثف :

$25 + 6.64 = 31.64^{o}C$

فرق درجات الحرارة الأعظمي :

$\Delta t_{max} = 38 - 25 = 13k$

فرق درجات الحرارة الأصغري :

$\Delta t_{min} = 38 - 31.64 = 6.36k$

فرق درجات الحرارة اللوغارتمي :

$$\Delta t_l = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{13 - 6.36}{\ln \frac{13}{6.36}} = 9.29k$$

نجري اختيار أولياً للمكثف من الملحق (3) فنجد أن المكثف ذا القياس ١٠ الذي يحوي ٦٠ أنبوباً بأربع ممرات يمكن أن يكون مناسباً لأجل درجتي حرارة دخول للماء 25^oC وخروج 35^oC والقريبتين من الشروط المطلوبة.

غزارة الماء للأنبوب الواحد :

$$\dot{m}_t = \frac{\text{غزارة الماء الكلية} \times \text{عدد الممرات}}{\text{مجموع عدد أنابيب المكثف}}$$

$$\dot{m}_t = \frac{4.42 \times 4}{60} = 0.295 \ \frac{l}{s \quad \text{per tube}}$$

من الملحق (4) نجد أن عامل تشكل القشور والترسبات لمياه الأنهار النظيفة وسرعة ماء أكبر من 1 m/s هو 0.001 .

من المخطط (ملحق 5) عند غزارة الماء للأنبوب الواحد 0.295 *l*/s وعامل تشكل القشور 0.001 نجد معامل انتقال الحرارة الكلي للمكثف المبرد $k = 635 w/m^2k$.

مساحة سطح المكثف :

$$A = \frac{Q_c}{K \Delta t_l} = \frac{122.9 \times 1000}{635 \times 9.29} = 20.83 \ m^2$$

بالرجوع إلى الملحق (3) نجد أن الطراز 2.4 - 10 يمتلك مساحة خارجية للأنابيب $21.3m^2$ وهو الطراز المناسب، القطر الخارجي لغلاف المكثف 25Cm.

4 - 6 – اختيار المكثفات الهوائية : Selection of Air Cooled Condensers

تعطى استطاعة المكثفات الهوائية لأجل شروط تشغيل مختلفة. إن قيمة مساحة السطح F ومعامل الانتقال الحراري الكلي K تحدد من قبل الشركات الصانعة. تعتمد

استطاعة المكثف الهوائي على الفرق الوسطي لدرجات الحرارة TD بين الهواء الداخل إلى المكثف ووسيط التبريد المتكاثف. طالما أن معظم المكثفات الهوائية تكون مزودة بمراوح، لذا فإن كمية الهواء الدائرة تكون محددة وثابتة، وهكذا فإن معدل درجة حرارة الهواء المتدفق فوق سطح المكثف يعتمد على درجة الحرارة الجافة للهواء الداخل وعلى حمل المكثف.

لاختيار المكثف يجب معرفة ما يلي :

- درجتي حرارة التكاثف والتبخر.
- درجة الحرارة الجافة للهواء الخارجي.

بعد معرفة القيم السابقة نحسب فرق درجات الحرارة TD ثم نجد عامل التصحيح من الملحق (7) ونختار المكثف بعدئذ وفقاً لاستطاعته المحسوبة بالعلاقة :

استطاعة المكثف = استطاعة الضاغط × عامل طرح الحرارة × عامل التصحيح.

مثال :

ضاغط مغلق يعمل على الفريون R22، استطاعته التبريدية 6Kw، إذا علمت أن :

- درجة حرارة التكاثف $38^{o}C$
- درجة حرارة التبخر $-9^{o}C$
- درجة الحرارة الجافة للهواء الخارجي $28^{o}C$

احسب :

١. استطاعة المكثف

٢. اختر المكثف الهوائي المناسب لشروط التشغيل للضاغط.

الحل :

- نجد عامل طرح الحرارة للضواغط المغلقة من الملحق (2) فيكون 1.32
- فرق درجات الحرارة TD

$$TD = 38 - 28 = 10K$$

- من الملحق (7) نجد عامل التصحيح 1.6.
- استطاعة المكثف الهوائي :

Q_c = استطاعة الضاغط × عامل طرح الحرارة × عامل التصحيح

$Q_C = 6 \times 1.32 \times 1.6 = 12.672$ Kw

- من الملحق (6) نختار المكثف الهوائي وفقاً لاستطاعة المكثف المحسوبة ونوع وسيط التبريد فنجد أن القياس 3 ذا الاستطاعة 14Kw يحقق شرط التصميم.

5 - 6 -أبراج التبريد : Cooling Tower

أبراج التبريد هي بالأساس أجهزة استرجاع للحرارة من الماء.

الماء الساخن القادم من المكثف يضخ إلى أعلى برج التبريد إذ يتدفق الماء من الأعلى على شكل شلال أو يرذذ باتجاه الأسفل ويتجمع في الحوض السفلي للبرج، درجة حرارة الماء تنخفض إذ يعطي حرارة للهواء الذي يدور خلال البرج .

برغم وجود حرارة محسوسة منتقلة من الماء إلى الهواء فإن فعالية البرج تنتج تقريباً وبشكل كامل عن تبخر جزء من الماء المتساقط على شكل شلال أو رذاذ .

الحرارة التي تبخر جزءاً من الماء وتحوله إلى بخار تسحب من كتلة الماء المتبقية، وبالتالي يؤدي ذلك إلى تخفيض درجة حرارة الماء. البخار المتشكل نتيجة عملية التبخر لجزء من الماء يحمل بعيداً مع الهواء المنطلق عبر برج التبريد. بما أن كلاً من درجة حرارة ورطوبة الهواء ترتفعان خلال عبوره للبرج، فمن الواضح أن فعالية برج التبريد تتعلق بدرجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى برج التبريد ، وبقدر ما تكون درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل منخفضة بقدر ما تزداد فعالية برج التبريد .

العوامل الأخرى التي تؤثر في أداء برج التبريد هي :

١. مساحة سطح تعرض الماء ومدة التعرض .
٢. سرعة الهواء عبر البرج .
٣. اتجاه تيار الهواء بالنسبة لسطح الماء المعرض (مواز، عرضي، معاكس) .

مساحة سطح الماء المعرض تتضمن :

١. سطح الماء في حوض التجميع للبرج .
٢. جميع السطوح المبللة في البرج .
٣. مجموع سطوح قطرات الماء الساقطة عبر البرج .

نظرياً أخفض درجة حرارة للماء يمكن التوصل إليها في برج التبريد هي درجة الحرارة الرطبة للهواء المحيط الداخل إلى البرج. عملياً من غير الممكن تبريد الماء في البرج

حتى درجة الحرارة الرطبة للهواء المحيط. في أغلب الحالات تكون درجة حرارة الماء الخارج من التبريد أعلى بمعدل ($4\div5.5C^{o}$) من درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى البرج. أيضاً الهواء الخارج من البرج غالباً ما يكون إلى حد ما أقل من المشبع.

إن الفرق بين درجة حرارة الماء الخارج من برج التبريد ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى برج التبريد تسمى الاقتراب (Approach). أما الفرق بين درجتي حرارة دخول وخروج الماء يسمى مدى البرج (Range Of The Tower) .

بشكل طبيعي لنحافظ على توازن في مياه التكثيف في المكثف فإن مدى البرج يجب أن يساوي عادة ارتفاع درجة حرارة الماء في المكثف، أي بمعنى أخر فإن معدل انخفاض درجة الحرارة في البرج يساوي معدل ارتفاع درجة حرارة المياه في المكثف.

يشذ عن هذه القاعدة عند استخدام تحويلة على المكثف (ممر مائي جانبي، Bypass).

يحدد حمل برج التبريد بالمعادلة :

$$Q_T(kW) = G_w(l/s)\times c_W(kJ/Kg.K)(t_{wi}-t_{wo}) \qquad (6\text{-}73)$$

إذ :

G_w – وزن الماء المتحرك في البرج

c_w – السعة الحرارية للماء

t_{wi} – درجة حرارة دخول الماء إلى البرج .

t_{wo} – درجة حرارة دخول خروج الماء من البرج .

مثال 1 :

أوجد الحمل الحراري لبرج تبريد إذا كانت درجة حرارة دخول الماء إلى البرج $36^{o}C$ ودرجة حرارة خروج الماء من البرج $30^{o}C$ وأن معدل تدفق الماء عبر البرج 2 l/s

الحل :

$$Q_T = 2\times4.19(36-30) = 50.3\ kW$$

مثال 2 :

حدد استطاعة آلة التبريد التقريبية الموصولة مع برج التبريد في المثال السابق إذا كانت درجتا حرارة التبخر والتكاثف -18^oC، $+38^oC$ على التوالي، علماً أن المجموعة تستخدم ضاغطاً مفتوحاً.

الحل :

من الملحق (1) نجد عامل طرح الحرارة للضواغط المفتوحة فيكون 1.28 أي أن كل 1kw استطاعة تبريدية يقابلها 1.28kw في المكثف.

وبالتالي فإن الاستطاعة التبريدية لآلة التبريد :

$$C.RE = \frac{\text{الحمل الكلي لبرج التبريد (kW)}}{\text{حمل المكثف } (\frac{kW}{kW})} = \frac{50.3}{1.28} = 39.3\ Kw$$

إن الحرارة الممتصة لكل 1Kg ماء متبخر هي تقريباً 2260KJ. لنفرض أن حمل المكثف هو 1.25Kw لكل كيلو واط استطاعة تبريدية فإن كمية الماء المتبخر لكل كيلو واط استطاعة تبريدية هي بالتقريب 2 l/s .

بالإضافة إلى فقدان الماء بعملية التبخر، هناك فقدان بسبب جرف (drift) الهواء لبعض قطرات الماء الصغيرة، وهذا تابع لتصميم برج التبريد والسرعة الرياح.

النوع الآخر من الضياع يسمى الاستنزاف (Bleed off) ويتم عن طريق الفقد المستمر والدوري لنسبة معينة من المياه الدوارة في البرج وذلك لتجنب حدوث تجمع للشوائب المعدنية الصلبة أو الأوساخ الأخرى المحلولة في ماء المكثف.

كمية الاستنزاف المطلوبة للمحافظة على تركيز معقول للأملاح في الماء تابعة لمدى البرج (Cooling range) أي معدل هبوط درجة الحرارة في البرج ولمعدل تدفق الماء ولشروط الماء البدائية (أي لمياه التعويض للبرج) .

معدلات الاستنزاف المقترحة لمجالات مختلفة لبرج التبريد مدرجة في الجدول (1-6)

مدى البرج Cooling range (K)	النسبة المئوية للاستنـــزاف Percent Bleed Off
3.5	0.15
4.2	0.22
5.5	0.33
8.2	0.54
11	0.75

الجدول (1-6) :معدلات الاستنـــزاف

هكذا لتحديد كمية ضياع الماء بالاستنـــزاف يضرب معدل تصريف الماء في البرج بمعامل الاستنـــزاف الذي نحصل عليه من الجدول .

مثال :

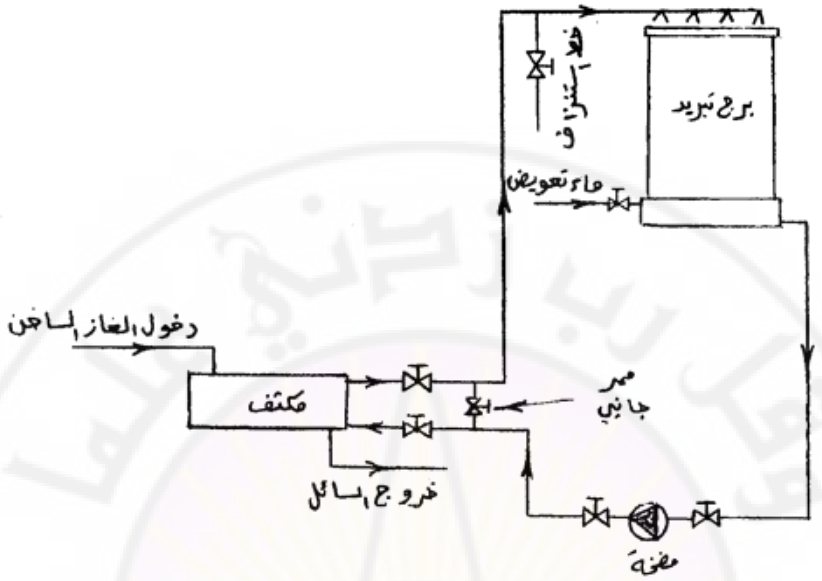
حدد كمية الماء المفقودة بعملية الاستنـــزاف في برج تبريد معدل جريان الماء فيـــه 2l /s ومدى البرج (معدل هبوط درجة الحرارة في البرج) $5.5K^{\circ}$.

الحل :

من الجدول نجد أن نسبة الاستنـــزاف 0.33%

كمية الماء المفقودة بالاستنـــزاف = 2×0.0033 = 0.0066 l/s =24 l/h

خط الاستنـــزاف يجب أن يوضع في أعلى برج التبريد على خـــط دخـــول المـــاء الساخن إلى البرج بالقرب من برج التبريد، وهكذا فإن فقد الماء يتم فقط أثناء عمل البرج كما هو موضح بالشكل (16-6) .



الشكل (6-16)

1 - 5- 6 -مردود أبراج التبريد :

في أبراج التبريد بجميع أشكالها يتم تبريد الماء بشكل أساسي بترطيب الهواء أديباتياً كما يتم بتسخين الهواء المار عبر البرج نتيجة ملامسته للماء الساخن.

مجموع الحمل الحراري لبرج التبريد يمكن أن يعطى بالمعادلة :

$$Q_T = G_w \cdot c_w (t_{wi} - t_{wo}) = G_e \cdot r + G_a (i_o - i_l) \qquad (6\text{-}74)$$

حيث :

G_w – وزن الماء المتحرك في البرج .

c_w – السعة الحرارية للماء .

t_{wi} – درجة حرارة دخول الماء إلى البرج .

t_{wo} – درجة حرارة خروج الماء من البرج .

G_e – كمية المياه المتبخرة.

r– الحرارة الكامنة للمياه المتبخرة عند درجة حرارة مساوية درجة الحرارة الوسطية في البرج أي عند $t_{wm} = (t_{wi} + t_{wo})/2$

G_a _ وزن الهواء المتدفق في البرج .

i_o _ إنتالبي الهواء الخارج من البرج .

i_i _ إنتالبي الهواء الداخل إلى البرج .

مردود البرج أو نسبة فعالية البرج يعبر عنها بنسبة مدى البرج (معدل انخفاض درجة الحرارة للماء في البرج) إلى مدى درجة الحرارة في البرج فيما إذا كان تبريد الماء في البرج سيتم حتى درجة حرارة مساوية درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى البرج (الهواء المحيط) .

$$E = \frac{t_{wi} - t_{wo}}{t_{wi} - t'} \qquad (6\text{-}75)$$

إذ : t' درجة الحرارة الرطبة للهواء المحيط .

مثال 1 :

لدينا آلة تبريد تستخدم مياه برج تبريد قسري ، درجة حرارة المياه الداخلة إلى البرج 105 F^o (40,5°c) ودرجة حرارة خروج المياه من البرج 85 F^o (29,4° c) .

درجة الحرارة الرطبة التصميمية للهواء المحيط 76 F^o (24,4°c) أوجد مردود البرج .

$$E = \frac{t_{wi} - t_{wo}}{t_{w0} - t'} = \frac{105 - 85}{105 - 76} \times 100 = 69\%$$

مثال 2:

لدينا وحدة تبريد استطاعتها 100 tons (مئة طن تبريدي) ، تتشغل على ماء غزارته 4g. p.m /tons (أربعة جالونات بالدقيقة الواحدة لكل طن تبريدي) ، البرج مصمم على أساس تخفيض درجة الحرارة من 102 F^o إلى 85 F^o .

درجة حرارة الهواء الخارجية الجافة t= 95 F^o

درجة حرارة الهواء الخارجية الرطبة $t' = 76F^o$

علماً أن الهواء يخرج من البرج برطوبة نسبية 92% عند درجة حرارة 92F^o، والمطلوب إيجاد:

١. كمية الهواء المعالج مقدرة بالقدم المكعب في الدقيقة (ft^3/min).

٢. كمية الماء المتبخر بالجالون في الدقيقة .

الحل:

من المخطط السايكرو متري فإن نسبة الرطوبة للهواء الداخل إلى البرج w_i = 01015 lb/ lb of air ونسبة الرطوبة للهواء الخارج من البرج w_o = 0,0295 lb/ lb of air .

وبالتالي نجد نسبة الرطوبة المتبخرة لكل باوند من الهواء :

$\Delta w = w_o - w_i = 0.0295 - 0.015 = 0.0145$ (lb of water)/(lb of air).

كمية الحرارة المنقولة من الماء إلى كل باوند من الهواء :

$Q = \Delta w \cdot r + G_a(i_o - i_i) = 0.0145 \cdot 1035 + 1$ lb $(54.8 - 39.6) = 30.21$Btu/lb of air

باستخدام معادلة الحمل الحراري لبرج التبريد (6-73) نجد :

$Q_T = 400 \times 8.33 \times 1 \times (102 - 85) = 56640$ Btu/min

كمية الهواء المعالج مقدراً ب (ft^3 /min) :

$G_a = 56640/30.21 = 1870$ lb/min

من المخطط السايكو متري عند درجتي الحرارة $t = 95\ F^\circ$ و $t = 76\ F^\circ$ نجد الحجم النوعي للهواء $v_a = 14.3\ ft^3$ / lb وبالتالي نجد :

$V_a = G_a(lb/min) \times v_a(ft^3/lb) = 1870 \times 14.3 = 26740\ ft^3/min$

كمية الماء المتبخر بالجالون لكل دقيقة :

$G_e = 0.0145 \times 1870/8.33 = 3.26$ g/min

مياه التعويض طبعاً تتضمن هذه الكمية بالإضافة إلى الكمية الضائعة بالجرف والاستنزاف ، وهذا تابع لتصميم البرج ولموقعه .

تستعمل عادة مياه تعويض للبرج بمعدل (1÷2 g/ min) لكل 1000 gallon من المياه الدوارة في البرج من أجل انخفاض درجة حرارة الماء في البرج فهرنهايتيه واحدة ($1F^\circ$) . إذا كان هبوط درجة الجرارة في البرج $9F^\circ$ فإن معدل الفقد سيكون (0,9 - 1,8%) وبما أن :

1 gallon = 3.7851 l
1000 gallon = 3785 l
$1F^\circ = 5/9\ C^\circ$

فإن كمية مياه التعويض للبرج وفقاً لما ذكر أعلاه تكون (l 7.56÷3.78) لكل 3785 ليتراً في الدقيقة من أجل تخفيض درجة حرارة $5/9\ C^\circ$.ومن أجل تخفيض درجة الحرارة بمعدل $1°C$ تكون كمية مياه التعويض (l 13.6 ÷ 6.8) لكل 3785 لتراً في الدقيقة .

إذا كان تخفيض درجة حرارة الماء في البرج بمعدل 5°C فإن الفقد في البرج لكل 3785 لتراً يكون بمعدل (l 68÷43).

وبالتالي فإن معدل الضياع لكل متر مكعب من المياه الدواره يكون (l 18÷ 9) على فرض أن انخفاض درجة الحرارة في البرج يتم بمعدل 5°C . أو بتعبير آخر فإن معدل الفقد في البرج يكون بمعدل تقريبي (% 1,8 ÷ 0,9) من المياه الدارة عندما يكون هبوط درجة حرارة مياه التبريد في البرج بمعدل 5°C .

2 - 5 - 6 - تصميم أبراج التبريد : (Cooling Tower Design)

تصنف أبراج التبريد إلى نوعين رئيسين :

١. أبراج التبريد ذات تيار الهواء الطبيعي (Natural Draft)، وفيها تعتمد حركة الهواء خلال البرج على حركة الرياح الطبيعية .

٢. أبراج التبريد ذات تيار الهواء القسري (Forced Air)، وفيها يتم سحب الهواء بوساطة عامل مساعد خارجي كالمراوح .

وتقسم أبراج التبريد ذات تيار الهواء الطبيعي إلى ثلاثة أنواع :

أ_ النوع الكبير Large Type .

ب_ النوع البسيط أو الصغير Small Type .

ج_ النوع ذو الرذاذ المتناهي (Spray Pond) .

بينما تنقسم أبراج التبريد ذات تيار الهواء القسري إلى نوعين:

ا_ النوع الصغير .

ب_ النوع الكبير .

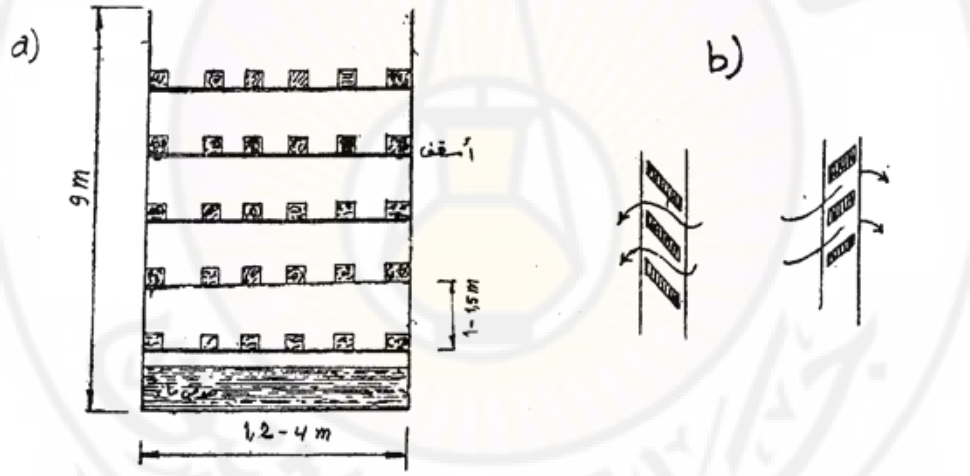
1- 2 - 5 - 6 - أبراج التبريد ذات تيار الهواء الطبيعي :

١- برج التبريد ذو تيار الهواء الطبيعي (النوع الكبير) :

يتكون البرج من هيكل خشبي أو من الصلب ، أما الألواح الخشبية المستخدمة في صناعة البرج فهي من الخشب السرو أو من الخشب الأحمر ، ويقسم البرج إلى عدة أسقف ،

يتكون كل سقف من عدة سدايب (عوارض خشبية) يفصلها مسافات لإمكان نزول الماء منها إلى السقف الأسفل الذي يليه (الشكل 17,a– 6).

تتراوح المسافة بين كل سقف وآخر من (١÷ ١،٥) متراً ، وتتكون أجناب البرج من شيش تهوية ، تميل رئيس هذا الشيش بدأً من السقف إلى الأعلى الشكل (17,b–6) ، وذلك لإمكان سقوط أكبر كمية من قطرات الماء المحمولة بالهواء داخل البرج أثناء ورود الهواء متجهاً إلى الأعلى خارج البرج ، ذلك إن تغيير اتجاه الهواء يقلل من سرعته وبالتالي من مقدرته على حمل هذه القطرات ، أي أن الشيش المكون لأجناب البرج يتكون من عدة عوارض أو ريش تميل إلى الأعلى.



الشكل (17-6) : برج التبريد ذو تيار الهواء الطبيعي (النوع الكبير) .

أبعاد البرج :

يتراوح عرض البرج من (١,٢÷ ٤) أمتار وارتفاعه حتى ٩ أمتار، أما الطول فينزك ليأخذ أي مسافة حسب التصميم والسعة .ولكن أبراج التبريد التي تستخدم في محطات الطاقة ذات الاستطاعة الكبيرة تكون بشكل قطع زائد مشابهة للمداخن بارتفاع ٥٠÷ ١٠٠ متر حيث يتدفق الهواء بالحمل الحر .

الماء الداخل إلى البرج يصب فيه بوساطة رشاشات متصلة بماسورة الماء الخـــارج من المكثف ويوجد بأسفل البرج حوض يتجمع فيه الماء المتساقط ، ثم يؤخذ عبر مصفاة إلى مضخة لتدفع الماء البارد إلى المكثف وترفعه من المكثف إلى برج التبريد .

طريقة أداء البرج :

يدخل الهواء إلى البرج من عدة اتجاهات ليقابل الماء الساخن فيبرده .

بالإضافة إلى ذلك فإن حركة الهواء تبخر جزءاً من الماء الذي يأخذ الحرارة الكامنة اللازمة لتبخيره من كتلة الماء الساخن المحيطة به فيبرد الأخير .

إن وجود الأسقف في رصات متتالية يكسر عمود الماء ويفرش مساحة مبتلة أكبـــر وهذا يجعل الهواء يغلف أكبر قدر من جزئيات الماء فيعمل على سرعة تبريـــدها . كمـــا أن وجود الأسقف في رصات متتالية أيضاً يعطي فرصة أطول للماء لكي يحدث التبادل الحراري بينه وبين الهواء. إن سرعة الهواء داخل أبراج التبريد الطبيعية يتبع لسرعة الرياح ، من هنا فإن استطاعة برج التبريد الطبيعي مختلفة بحسب سرعة الرياح، لذلك تركب هـــذه الأبـــراج خارجاً ويفضل وجودها خارجاً في مكان معرض .

محاسن برج التبريد ذي التيار الطبيعي :

١. سهولة الأداء .
٢. رخص التكاليف .
٣. رخص الصيانة .

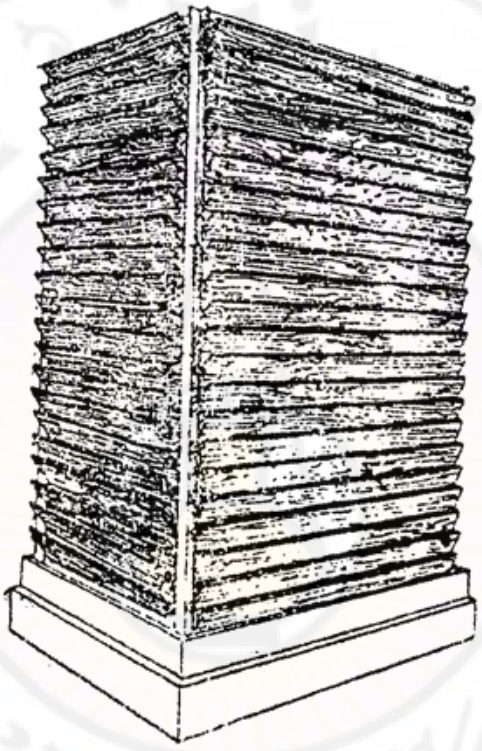
مساوئ برج التبريد ذي التيار الطبيعي :

١. يتطلب مساحة أكبر .
٢. لا بد من وجوده في مكان مرتفع لتكون سرعة الهواء أكبر .
٣. لا يركب إلا في الأماكن المفتوحة .

٢ – برج التبريد ذو التيار الطبيعي (النوع الصغير) :

يتكون هذا البرج من هيكل خشبي أو معدني وهو سور من الشيش في الأربع جهات ، و مجموعة من فوهات الرشاشات متوضعة عند أعلى البرج .

لا يوجد به أي أسقف خشبية ، والشيش كما في النوع الكبير يتكون من مجموعة من عوارض متجهة إلى الأعلى وتسمح بمرور الهواء من حول عمود رشاش الماء ولكن بالتالي لا تسمح بحمل كميات من الماء معه (الشكل 18 - 6) .



الشكل (18-6) : برج التبريد ذو تيار الهواء الطبيعي (النوع الصغير)

إن سطح الماء المعرض يتبع لشكل الرشاشات بشكل أساسي ، وإن شكل الرشاشات يتبع لشكل تصميم الفوهات (nozzles) .

معظم الفوهات تصمم لهبوط ضغط فيها (50÷75 kpa) أي ما يعادل (0,5÷0,75 bar) ، وتعطى عند ذلك ترذيذاً جيداً للماء .

٣- برج التبريد ذو الرذاذ المتناهي :

يشغل هذا البرج مساحة كبيرة ويوجد فوق الأسطح .

يغلفه سور من الشيش المتجهة عوارضه إلى الأعلى ويتكون من مجموعة من البخاخات المتجهة رأسياً وتكون متوضعة أعلى الحوض بنحو ١ متر ، هذه البخاخات تدفع الماء إلى أعلى وباتجاه قطري وهي ترذذ الماء أكثر . إن حركة الماء باتجاه الأعلى ثم انحناءه واتجاهه إلى الأسفل تزيد من زمن وصول الماء إلى القاع مما يساعد على تبريده ، ومع هذا فإنه لا يبرد إلى الدرجة التي يصل إليها في النوعين السابقين أو في البرج ذي التيار القسري .

محاسنه : ١- سهولة الصيانة ، ٢- رخص التكاليف .

2 - 2 - 5 - 6 - أبراج التبريد ذات التيار القسري :

ويستخدم هذا النوع من الأبراج في الحالات التالية :

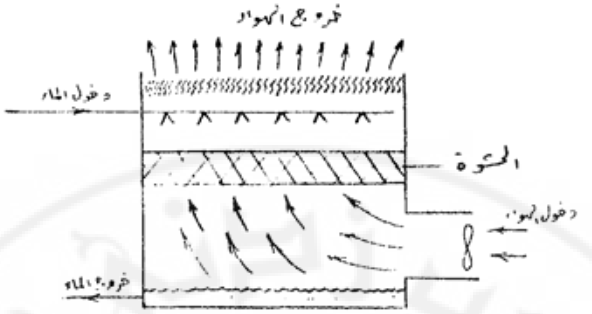
١. عند تعذر وجود مساحة كبيرة لبرج التبريد .
٢. عدم وجود مساحات مفتوحة مواجهة للريح .
٣. في الأماكن التي يكون فيها الهواء راكداً .

تصميم أبراج التبريد الميكانيكية (القسرية) :

تختلف أبراج التبريد الميكانيكية من حيث الشكل والتصميم من شركة لأخرى ، ولكن يمكن تصنيفها من حيث الطريقة التي يدفع بها تيار الهواء إلى نوعين :

١- أبراج بدفع قسري :

ويتم فيها سحب الهواء من فتحات الدخول ودفعه من أسفل البرج إلى أعلاه وتسمى هذه الطريقة الدفع القسري (Forced Draft) ، وتكون فيها قاعدة المروحة أسفل البرج أي جانب فتحات دخول الهواء وتسحب الهواء مباشرة وتدفعه لأعلى البرج (الشكل 19 - 6) ، وبالتالي ستكون سرعة الهواء المطرود بطيئة مما يشكل عيباً كبيراً ، وذلك أن بطء اندفاعه قد يسبب دوائر قصيرة إذ سينجذب جزء كبير منه مرة أخرى إلى داخل فتحات دخول الهواء نظراً للسحب الشديد .

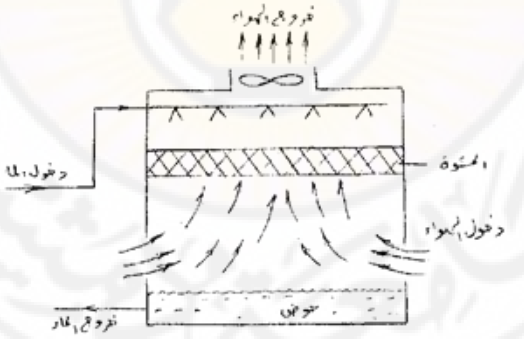


الشكل (19 - 6) : برج التبريد ذو الدفع القسري (Forced Draft) .

٢- أبراج تبريد بسحب مستحث (تأثيري) :

وهنا تركب المروحة بأعلى البرج وبالتالي سيكون هناك حيز خلخلة للهواء داخل البرج، سيندفع إلى هذا الحيز هواء من مساحة أكبر منه (بفضل فرق الضغط) وبالتالي عند إزاحة هذه المساحة الأكبر سيتحرك نحوها في الفراغ الذي تركته هواء قادم من مساحة أكبر وهكذا .

يسمى هذا التيار المندفع من الأسفل إلى الأعلى بهذه الطريقة بالسحب المستحث (Induced Draft) (انظر الشكل 20 - 6) .



الشكل (20 - 6) : برج تبريد بالسحب المستحث (induced draft) .

وكما ذكرنا سابقاً تقسم أبراج التبريد ذات تيار الهواء القسري من حيث الحجم والسعة إلى نوعين:

١- برج التبريد ذو التيار القسري من النوع الكبير :

ويتكون من مراوح تهوية تركب على جانب البرج من الأسفل بينما يتدافع الهواء تاركاً البرج من الجانب الأعلى .

تقفل جوانب برج التبريد بغلاف معدني أو خشبي وذلك بعكس أبراج التبريد الطبيعية فيما عدا الفتحات التي تركب عليها المراوح من الجانب الأسفل والفتحات التي يخرج منها الهواء من الجانب الأعلى .

توضع أبراج التبريد من النوع الكبير عادة فوق الأسطح لا لأنها تحتاج لمساحات كبيرة ولكن بسبب ارتفاعها .تملأ هذه الأبراج بمكعبات خشبية وبها عدة ريش تفصلها مسافات ، وقد توضع هذه الريش في وضع أفقي ورأسي وقد توضع على شكل حرف V لزيادة الأسطح المبتلة .

فائدة المكعبات :

أ. تكسير عمود الماء (الشلالات) وهذا يمكن الهواء من ملامسة أكبر قدر من ذرات الماء .

ب. زيادة السطح المبتل (أي نشر الماء على أكبر قدر من المساحة) .

ج. تمكين الماء من أخذ وقت كاف للانتقال من أعلى البرج إلى أسفله وبذلك يعطيه فرصة أكبر ليبرد .

الماء المتجمع في الحوض أسفل البرج يدفع بوساطة مضخة إلى المكثف بعد مروره عبر فلاتر ومصفاة، ومن المكثف يساق إلى أنبوبة تتصل برشاشات في أعلى البرج .

٢- برج التبريد ذو التيار القسري من النوع الصغير :

أهم النقاط التي تميز هذا النوع هي :

- يمكن أن يوضع داخل المبنى وفي هذه الحالة يجب مراعاة الآتي :

أ. أن يركب اتصال بالخارج لدخول الهواء إلى البرج .

ب. أن يركب اتصال إلى الخارج لخروج الهواء من البرج إلى الجو الخارجي .

- لا يوجد بداخله عادة الحشو الخشبي .
- يرذذ الماء بوساطة فوهات في أعلى البرج إلى ذرات أدق .
- إمكان استخدام الهواء الخارج من الحيز المكيف (الراجع) وإمراره على برج التبريد، وهذا يعطي هواء داخلاً ذا درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الرطبة للهواء الخارجي مما يرفع من فعالية التبريد .

3- 2 - 5 - 6 - استطاعة أبراج التبريد واختيارها :

يحتوي الملحق (٨) معطيات عن استطاعات أبراج التبريد الطبيعية مع ملاحظة أن الاستطاعات معطاة بالطن تبريدي ، وهي مبنية على أساس أن الاستطاعة الحرارية المنتقلة تشكل 1.25 KW لكل كيلو واط استطاعة تبريدية .

الاستطاعة الإسمية للبرج معطاة على أساس أن سرعة الرياح 4,8 Kw /h ودرجة حرارة رطبة مقدارها t =26,5°C وتصريف الماء المتدفق من أعلى البرج 0.072 l/s لكل كيلو واط استطاعة تبريدية ، أو 0.26 l/s لكل طن تبريدي .

أداء البرج (Tower Performance) للحالات الأخرى يعطى باستخدام جداول تصحيح .

من أجل اختيار برج التبريد المناسب من جدول الاستطاعات يجب أن تتوافر المعطيات التالية :

١. استطاعة البرج المطلوبة أو المرغوبة بالكيلو واط أو بالطن التبريدي (Compressor Capacity) .
٢. درجة الحرارة الرطبة التصميمية .
٣. درجتا حرارة خروج الماء من برج التبريد (درجة حرارة دخول الماء إلى المكثف أو اقتراب البرج Tower Approach) .

أو المعطيات التالية :

١. تدفق الماء من أعلى برج التبريد (ليتر بالثانية) .
٢. درجة الحرارة الرطبة التصميمية .
٣. درجة حرارة الماء المطلوبتين عند الدخول إلى برج التبريد وعند الخروج منه (مدى البرج واقتراب البرج) (Tower Cooling Range and Tower Approach) .

مثال :

من الملحق (٨) اختر برج التبريد المناسب ، علماً أننا نملك المعطيات التالية :

١. استطاعة برج التبريد المطلوبة 70 Kw(20 طناً تبريدياً) .
٢. درجة الحرارة الرطبة التصميمية 25.5°C .
٣. درجة حرارة خروج الماء من برج التبريد 30°C .

الحل :

من الملحق (٨) وفق معطيات المسألة نختار برج التبريد 66 -CA# الذي اســتطاعته 20.7 طناً تبريداً (72,8 Kw) .

4- 2 - 5 - 6 – التحويل عن المكثف أو الممر الجانبي (Condenser Bypass):

لأي برج تبريد معطى فإن مدى البرج والاقتراب ودرجة حرارة الماء الخارج من البرج جميعها تكون تابعة لدرجة الحرارة الرطبة للهواء . لهذا السبب في المناطق الساحلية التي تكون درجة الحرارة الرطبة فيها مرتفعة نسبياً فإن الاقتراب من درجة الحرارة الرطبة يكون مطلوباً للمحافظة على درجة حرارة تكاثف معقولة مع مقاسات اقتصادية للمكثف.

بقدر ما تزداد كمية المياه المدورة في البرج بقدر ما نستطيع أن نقّرب ما بين درجة حرارة المياه الخارجة من البرج ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الخارجي .

فمثلاً يمكننا أن نعطي في المكثف كمية حرارة إلى كمية من الماء ويمكن أن نعطي كمية الحرارة نفسها إلى كمية مضاعفة من الماء ولكن سيكون الفرق بين درجتي حرارة الدخول والخروج للأولى ضعف الثانية .

ففي الحالة التي تستخدم فيها كمية مياه أكبر سيكون الفرق بين درجتي الحرارة أصغر وبالتالي تكون درجة الحرارة النهائية للماء عند حوض البرج أقرب إلى درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل منها لو استخدمنا نصف الكمية من الماء ، ولهذا السبب يتضح لنا لماذا نستخدم المياه ذات الكمية الكبيرة في برج التبريد .

لذلك في المناطق التي تكون فيها درجة الحرارة الرطبة مرتفعة فإنه يعمد إلى زيادة كمية الماء المدورة في البرج وهذا يكون اقتصادياً أكثر من تدوير كمية كبيرة من الماء في المكثف، لأن زيادة كمية الماء المدورة في المكثف يؤدي إلى زيادة مقاسات المكثف وإلى زيادة الضياعات الهيدروليكية ، وهذا يمكن تحقيقه من خلال التحويل عن المكثف ، أي باستخدام ممر الماء الجانبي (Condenser Bypass) انظر الشكل (16-6) ، وهذا بالتالي يعطينا إمكان تخفيض درجة الحرارة في المكثف بدون أن نزيد من مقاسات المكثف القياسية .عبر ممر الماء الجانبي يدفع جزء من الماء بوساطة المضخة إلى الأنبوب الخارج من المكثف مما يزيد من حجم الماء الداخل إلى برج التبريد ويقلل من درجة حرارته النهائية .

كمية الماء المارة عبر الممر الجانبي يمكن تنظيمها بوساطة صمام يدوي يوضع على الممر (Bypass) ويعيّر مرة واحدة ، ومن ثم يمكن إزالة ذراع الصمام حتى لا يتم تغيير كمية الماء المعيرة المارة في الممر الجانبي .

معدل التدفق المرغوب للماء في الممر الجانبي يساوي حاصل طرح معدل تدفق الماء عبر المكثف من معدل تدفق الماء في أعلى البرج .

وبما أن استطاعة برج التبريد تساوي استطاعة المكثف فإن :

نسبة التدفق في البرج (ل/ ثا) × مدى البرج × ٤,١٩ (ك جول / كغ درجة) = نسبة التدفق في المكثف (ل/ ثا) × معدل ارتفاع درجة الحرارة في المكثف × ٤,١٩ (ك جول / كغ درجة) .

أي معدل تدفق البرج × معدل انخفاض درجة الحرارة فيه = التدفق في المكثف × معدل ارتفاع درجة الحرارة فيه .

بمساعدة هذه المعادلة يمكن إيجاد معدل تصريف الماء عبر الممر الجانبي .

مثال :

لدينا وحدة تبريد استطاعتها 85 Kw (24.18 طن تبريدي)، درجة الحرارة الرطبة التصميمية 26.5°C ، درجة الحرارة المرغوبة للماء الداخل إلى المكثف 30.5°C والارتفاع المرغوب لدرجة الحرارة في المكثف 5.5°C.

اختر برج التبريد المناسب من الملحق (8) وحدد ما يلي :

١. تصريف المياه الداخلة إلى برج التبريد من الأعلى مقدرة بـ (l/s) .
٢. درجة حرارة دخول الماء إلى برج التبريد .
٣. مجال البرج (انخفاض درجة الحرارة للماء الداخل إلى البرج) .
٤. درجة حرارة خروج الماء من المكثف .
٥. تصريف الماء عبر المكثف l/s .
٦. تصريف الماء عبر الممر الجانبي (bypass) .

الحل :

من الملحق (8) نجد أن برج التبريد CA - 58 # يحقق استطاعة 87.9 kw (25 طناً تبريدياً) عند درجة حرارة رطبة 26,5°C واقتراب (Approach) 4°C أي (4 C° =26,5 - 30,5) .

هذه الاستطاعة مبنية على أساس معدل تدفق الماء 0,072 l /s لكل كيلو واط استطاعة تبريدية في المجموعة (0,26 l /s لكل طن تبريدي) ،وعند مجال تبريد قدره 4.2°C أي (34.7 – 30.5) .

١. تصريف المياه الساقطة من أعلى البرج ذي الاستطاعة 85 kw .

Gw = 85 x 0,072 = 6,12 l/s

٢. من الملحق (8) نجد درجة حرارة دخول الماء إلى البرج 34.7°c .

٣. مجال البرج :

Tower Range = 34.7 – 30.5 = 4.2 °C

٤. درجة حرارة خروج الماء من المكثف :

30.5 + 5.5 = 36 °C

٥. تصريف المياه عبر المكثف :

$$G`_w = \frac{\text{مجال البرج} \times \text{معدل التدفق}}{\text{ارتفاع درجة الحرارة في المكثف}} = \frac{4.2 \times 6.12}{5.5} = 4.67\ l/S$$

٦. تصريف المياه عبر السمر الجانبي :

$G``_w = 6.12 – 4.67 = 1.45\ l/s$

مسألة 1 :

أجر الحسابات الحرارية لمكثف تيار تجميعي مكون من عدة عناصر متصلة مع بعضها.

- الإنتاجية التبريدية لآلة التبريد $Q_o = 75\ KW$
- درجة حرارة الغليان $T_o = 233\ K^o$
- درجة حرارة مياه التبريد $T_{w1} = 290K^o$
- وسيط التبريد المستخدم هو الأمونيا .

الحل :

- نفرض أن مياه التبريد ستسخن في المكثفات بمقدار $\Delta T_w = 5\ K^o$ فتكون درجة حرارة خروج مياه التبريد :

$$T_{w2} = T_{w1} + \Delta T_w = 290 + 5 = 295\ K^o$$

- درجة حرارة التكاثف :

$$T_k = T_{w2} + 3 = 298\ K^o$$

- فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغاريتمي :

$$\theta_t = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\ell n \frac{T_k - T_w}{T_k - T_{w2}}} = \frac{295 - 290}{\ell n \frac{298 - 290}{298 - 295}} = 5.11^{\circ}C$$

- يحسب الحمل الحراري للمكثف من معطيات دارة التبريد ويساوي:

$Q = 93.2\ KW$.

- كمية مياه التبريد المصروفة في المكثف :

$$G_W = Q / (C_W \cdot \Delta t_W) = 93.2 / (4.18 \times 5) = 4.459 \quad kg/Sec$$

- مواصفات سطح التبادل الحراري :

القطر الداخلي للأنبوب $d_{in} = 0.031m$

القطر الخارجي للأنبوب $d_{out} = 0.038m$

عدد الأنابيب $n = 14$

طول الأنبوب $L = 3m$

عدد الممرات $Z = 7$

مساحة سطح التبادل الحراري الداخلي لعنصر (قسم) واحد :

$F_{in} = \pi \cdot d_{in} \cdot n \cdot L$

$= \pi \times 0.031 \times 14 \times 3 = 4.09\ m^2$

التدفق الحراري النوعي حسب عدد مقاطع المكثف m :

$q_{Fin} = Q / (m \cdot F_{in})$

m	3	4	5	6
q_{Fin} W/m^2	7595.7	5641.8	4557.5	3797.8

– معامل الانتقال الحراري بجهة الماء α_W :

– سرعة جريان الماء داخل الأنابيب :

$$W = \frac{Z}{n} \cdot V_w \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_{in}^2 \cdot m}$$

– عدد رينولدز :

$R_e = W \cdot d_{in} / \nu$

– عدد نسل (في المنطقة الانتقالية والمضطربة للجريان) :

$$N_u = 0.021 R_{em}^{0.8} \cdot P_r^{0.43} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon$$

– معامل انتقال الحرارة α_W :

$\alpha_W = N_u \cdot \lambda / d_{in}$

عند درجة حرارة وسطية للماء $T_{wm} = 292.5\ K^o$ يكون :

$P_r = 7.02$

$\lambda = 0.599\ W / m.K$

$\nu = 1.006 \times 10^{-6}\ m^2/Sec$

من أجل العلاقات المذكورة أعلاه ننظم الجدول التالي لقيم α_W , N_u , R_e , w وذلك تبعاً لعدد المقاطع m :

m	3	4	5	6
w (m/Sec)	0.985	0.738	0.591	0.492
R_c	30353	22742	18212	15161
N_u	187	148	124	108
α_W ($W/m^2.k$)	3613	2860	2396	2087

- معامل انتقال الحرارة بجهة وسيط التبريد α_a $w/m^2.k$ منسوباً للسطح الداخلي :

$$\alpha_a = 0.72\sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.d_{out}.(T-T_s)}}.n^{-1/6}.\frac{d_{out}}{d_{in}}$$

عند درجة حرارة التكاثف $T_k = 298\ K^o$ لوسيط التبريد يكون :

$r = 1167.59 \times 10^3$ j/kg
$\rho = 602.8$ kg/m^3
$\lambda = 0.4844$ w/m.k
$\mu = 0.1447 \times 10^3$ Pa.Sec

كما نعدّ عدد صفوف الأنابيب $n = 4$ على ارتفاع المقطع (العنصر) للتوزع المتوازي.

ومنه :

$$\alpha_a = 0.72\sqrt[4]{\frac{1167.59x10^3.(602.8)^2.(0.4844)^3 x9.81}{0.1447x10^{-3}x0.038(T-T_s)}}.4^{-1/6}.\frac{0.038}{0.031}$$

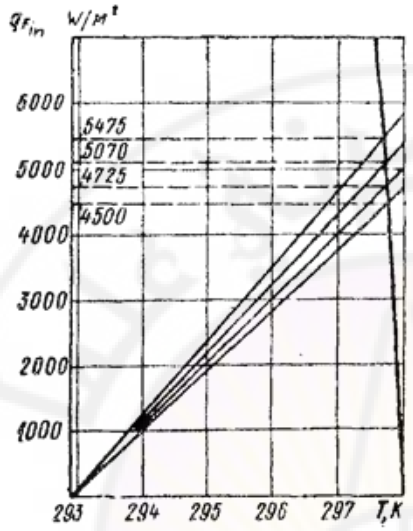
$$= 11997(T-T_s)^{-1/4} \qquad W/m^2.\ k^o$$

- نحصل على قيمة التدفق الحراري النوعي للمكثف من المخطط البياني الممثل للعلاقتين :

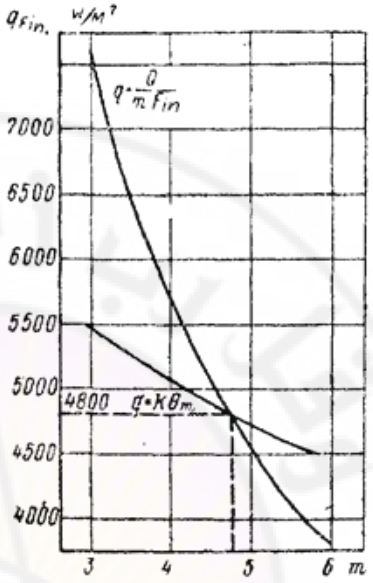
$$q_{wFin} = \frac{T_s - T_w}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum\frac{\delta}{\lambda}}$$

$$q_{aFin} = \alpha_a(T-T_s) = 11997(T-T_s)^{3/4}$$

إذ $\sum \delta/\lambda$ تساوي 0.6×10^{-3} $m^2.k/w$.



a) الشكل



b) الشكل

من المخطط (الشكل a) نحصل على عدة قيم لـــ q_{Fin} (عدة نقاط تقاطع) بسبب كون القيمة α_w في المعادلة الأولى متغيرة تبعاً لعدد المقاطع m – انظر الجدول الوارد في أول المسألة.

الجدول التالي يعطي قيم q_{Fin} المحددة في المخطط a عند القيم الموافقة لـــ m :

m	3	4	5	6
q_{Fin} W/m²	5475	5070	4725	4500

بتمثيل القيم المبينة في الجدول على المخطط (q_{Fin} - m) وتمثيل العلاقة $q = Q / (m.F_{in})$ على المخطط نفسه – شكل b – نحصل على القيمة الفعلية للتدفق الحراري النوعي من تقاطع منحني العلاقتين إذ نجد أنه عند m = 4.76 يكون q_{Fin} = 4800 w/m² ومنه نختار m = 5 .

– مساحة سطح التبادل الحراري الكلي في المكثف :

$$F = m . F_{in} = 5 \times 4.09 = 20.45 \quad m^2$$

- تتحدد الضياعات الهيدروليكية في المكثف (من جهة الماء) بالعلاقة :

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_F + \Sigma \Delta P_m$$

إذ :

$\Sigma \Delta P_F$: مجموع المقاومات الاحتكاكية .

$\Sigma \Delta P_m$: مجموع المقاومات المحلية .

$$\sum P_f = \xi . \frac{l}{d_{in}} . \rho . \frac{w^2}{2}$$

$$\sum P_F = 0.0359 x \frac{21}{0.031} x 1000 x \frac{(0.591)^2}{2} = 4257 \quad Pa$$

ξ= 0.0359 معامل الضياع بالاحتكاك ويتحدد بالعلاقة التالية بالنسبة للأنابيب الفولاذيـــة الخشنة:

$$\frac{1}{\sqrt{\xi}} = -1.8 x Log\left(\frac{6.81}{R_e} + \frac{\Delta^{-1.111}}{4.33}\right)$$

$$\xi = \left(\frac{1}{-1.8 x Log\frac{6.81}{18212} + \frac{(0.00613)^{1.111}}{4.33}}\right)^2$$

$$\overline{\Delta} = \frac{\Delta}{d_{in}} = \frac{0.19}{31} = 0.00613$$

إذ :

Δ = 19 mm : لجدران الأنابيب الخشنة .

$$\Sigma \Delta P_m = \xi . \rho . W^2/2 = 39 \times 1000 \times (0.591)^2/2 = 6811 \quad Pa$$

إذ :

$$\xi = a.\xi_1 + b.\xi_2 + c.\xi_3$$

$= 8 \times 1.5 + 8 \times 1.5 + 6 \times 2.5 = 39$

$\xi_1 = 1.5$: معامل الضياع لفتحة الدخول .

$a = 8$: عدد فتحات الدخول .

$\xi_2 = 1.5$: معامل الضياع لفتحات الخروج .

$b = 8$: عدد فتحات الخروج .

$\xi_3 = 2.5$: معامل الضياع عند تغير اتجاه حركة الماء .

$c = 6$: عدد مرات تغير الاتجاه .

$\Delta P = 4257 + 6811 = 11068$ Pa

مسألة 2 :

عند شروط المسألة السابقة نفسها أجر الحسابات الحرارية لمكثف أنبوبي أفقي ذي أنابيب مريشة، وسيط التبريد هو R-12 .

مواصفات سطح التبادل الحراري هي :

– الأنابيب نحاسية ذات ريش ذاتية .

– القطر الداخلي للأنبوب $d_{in} = 0.0132$ m .

– أصغر قطر خارجي للأنبوب $d_o = 0.0165$ m (عند أعمق حفرتين على سطح الأنبوب).

– القطر الخارجي للأنبوب عند رأس الريش $d_{out} = 0.021$ m .

– خطوة الريش $u = 0.002$ m .

– السطح الخارجي لطول متر واحد من الأنبوب $F_{out} = 0.165464$ m^2/m .

– السطح الداخلي لطول متر واحد من الأنبوب $F_{in} = 0.041134$ m^2/m .

– معامل التريش : $F_{out} / F_{in} \approx 4$.

الحل :

– نختار سرعة الماء في الأنابيب بشكل مسبق $w = 1.5$ m/Sec عندها يكون عدد الأنابيب في الممر الواحد :

$$n = \frac{4V_w}{W.\pi.d_{in}^2} = \frac{4x0.004459}{1.5x\pi x(0.0132)^2} \approx 21.7$$

ومنه نختار عدد الأنابيب $n = 22$.

– تحسب السرعة الحقيقية للجريان بناءً على عدد الأنابيب الصحيح :

$$= 1.48 \text{ m/Sec} \quad W = \frac{4V_w}{n.\pi.d_{in}^2} = \frac{4x0.004459}{22x\pi x(0.0132)^2}$$

– عدد رينولدز :

$$R_e = W.d_{in} / \nu = (1.48 \times 0.0132)/(1.006 \times 10^{-6}) = 19419$$

– عدد نسل :

$$Nu_m = 0.021 x R_{em}^{0.8} x P_r^{0.43} x \varepsilon_l . \varepsilon$$

$$Nu_m = 0.021 \times (19419)^{0.8} \times (7.02)^{0.43} = 130.8$$

– معامل انتقال الحرارة من جهة الماء :

$$\alpha_w = \frac{Nu_m.\lambda}{d_{in}} = \frac{130.8x0.599}{0.0132} = 5935 \qquad W/m^2.k$$

– معامل انتقال الحرارة من جهة الفريون :

$$\alpha_a = 0.725 \sqrt[4]{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.d_o(T-T_s)}}.n^{1/6}.\psi_p.\frac{F_{out}}{F_{in}}$$

$$\alpha_a = 0.725 \sqrt[4]{\frac{138.6x10^3 x(1309)^2 x(0.06978)^3 x9.81}{2.58x10^{-4} x0.0165}} x(T-T_s)^{-1/4} x$$

$$7^{-1/6} \times 1.5454 \times 4 = 11966 \, (T-T_S)^{-1/4}$$

إذ عند درجة حرارة التكاثف الفريون R-12 - $T = 298\ ^{o}k$ يكون :

$r = 138.6$	kj/kg
$\rho = 1309$	kg/m^3
$\lambda = 0.06978$	$w/m.k^{o}$
$\mu = 2.58 \times 10^{-4}$	Pa.Sec

$$\psi_p = 1.3 \frac{F_v}{F_{out}}.E^{3/4}\left(\frac{d_o}{h'_p}\right)^{1/4} + \frac{F_H}{F_{out}}$$

$$\psi_p = 1.3 \frac{0.1381}{0.165464} xlx\left(\frac{0.0165}{0.0063}\right)^{1/4} + \frac{0.0273}{0.165464} = 1.5454$$

إذ F_V مساحة السطح الشاقولي للريش :

$$F_B = \frac{\pi.\left(d_{in}^2 - d_o^2\right)}{2u.Cos(\alpha/2)} = \frac{\pi\left[(0.021)^2 - (0.0165)^2\right]}{2x0.002x0.9588} = 0.1381 \quad m^2$$

$\alpha = 35^o$: زاوية سطح الريشة .

F_H : مساحة القسم الأفقي من الأنبوب :

$$F_r = F_{out} - F_B = 0.165464 - 0.1381 = 0.0273 \quad m$$

$h`_p$: ارتفاع الريش :

$$h'_p = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_{out}^2 - d_o^2}{d_{out}}\right)$$

$$= \frac{\pi}{4}\left[\frac{(0.021)^2 - (0.0165)^2}{0.021}\right] = 0.0063 \quad m$$

E : فعالية الريش وتؤخذ مساوية الواحد في حالة الريش الذاتية الضيقة .

– التدفق الحراري النوعي من جهة الماء منسوباً للسطح الداخلي :

$$q_{wFin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}(T_s - T_w)$$

إذ : $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0.5x10^{-3} \quad \frac{m^2.k}{W}$ المقاومة الحرارية الناتجة عن جدار الأنبوب والترسبات .

ومنه : $q_{wFin} = 1496\ (T_s - T_w)$

– التدفق الحراري النوعي من جهة وسيط التبريد منسوباً للسطح الداخلي :

$$q_{aFin} = \alpha_a\ (T - T_s) = 11966\ (T - T_s)^{3/4}$$

على الشكل (a) نرى تمثيل العلاقتين $q_{wFin} = f(T)$ و $q_{aFin} = f(T)$.

من الشكل (a) نحدد نقطة تقاطع منحني التابعين :

$$q_{Fin} = 7875 \ w/m^2 \quad , \quad T_s = 297.4 \ ^ok$$

– سطح التبادل الحراري الداخلي :

$$F_{in} = Q/q_{Fin} = 93200 / 7875 = 11.83 \quad m^2$$

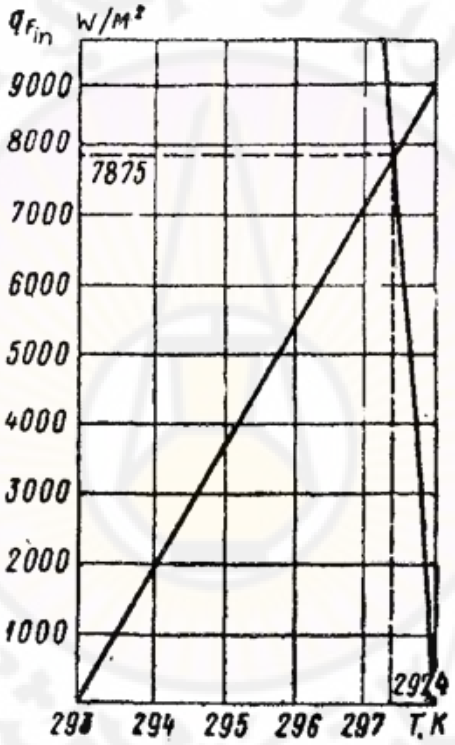
– طول الأنابيب :

$$L = F_{in} / (\pi . d_{in}) = 11.83 / (\pi . 0.0132) = 285.4 \quad m$$

– قياسات المكثف :

إذا كان الأنابيب لممر واحد 22 وعدد الممرات Z يكون طول المكثف :

$$\ell = \frac{F_{in}}{\pi . n . d_{in} . Z}$$



الشكل (a) $q_{Fin} = f(T)$

يرتبط طول المكثف وقطره بالنسبة التالية :

$$\ell / D = 4 .. 5$$

كما يرتبط قطر المكثف بعدد صفوف الأنابيب وفق العلاقة التالية :

$$D_{in} = 2S (m + 1)$$

إذ :

m : عدد الصفوف .

$S = 2d_o$: خطوة الأنابيب بالاتجاه الأفقي .

إن عدد الصفوف ينتج بعد معرفة عدد الأنابيب والعكس صحيح .

باستعمال العلاقات المبينة أعلاه يمكن ترتيب الجدول التالي :

z	4	6	8	10
l,m	3.27	2.36	1.64	1.31
n.z	88	132	176	220
m	5	6	7	8
D_{in}	0.396	0.462	0.528	0.590
l /D	~8.26	~5.06	~3.10	~2.48

وبما أن الأنابيب ستتوضع في القسم العلوي من الصندوق بينما يستعمل القسم السفلي من الصندوق كمجمع لذا نأخذ :

$n \cdot Z = 132$, $D_{in} = 0.5$ m , $l = 2.36$ m , $m = 6$

مسألة 3 :

أجر الحسابات الحرارية اللازمة لمكثف عمودي صندوقي وفق المعطيات التالية :

- الحمل الحراري للمكثف $Q = 250$ KW
- درجة حرارة التكاثف $T = 303\ K^o$
- درجة حرارة مياه التبريد $T_{w1} = 295\ K^o$
- وسيط التبريد المستخدم هو الأمونيا .

الحل :

– بفرض أن ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد في المكثف يساوي $\Delta T_W = 5\ ^oC$ فتكون درجة حرارة خروج مياه التبريد :

$$T_{w2} = T_{w1} + \Delta T_W = 295 + 5 = 300\ ^oK$$

فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغارتمي :

$$\theta_t = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{\ln \frac{T - T_{w1}}{T - T_{w2}}} = \frac{300 - 295}{\ln \frac{303 - 295}{303 - 300}} = 5.1 \ K^\circ$$

– معدل تصريف مياه التبريد :

$$G_w = \frac{Q}{C_w . \Delta T_w} = \frac{250}{4.18 \times 5} = 11.96 \ Kg / Sec$$

– المقاسات الأساسية للأنابيب :

القطر الداخلي $d_{in} = 0.051$ m

القطر الخارجي $d_{out} = 0.057$ m

ارتفاع الأنابيب $H = 4.5$ m

– السطح الداخلي للأنابيب يتحدد بالعلاقة :

$$F_{in} = Q / q_{Fin} \qquad (m^2)$$

لمثل هذا النوع من المختفات تؤخذ قيمة التدفق الحراري النوعي ضمن المجال :

$$q_{Fin} = 3000..5000 \ w / m^2$$

– عدد الأنابيب :

$$n = \frac{F_{in}}{\pi . d_{in} . H}$$

– نأخذ عدة قيم qF_{in} ضمن المجال المبين و بالاستفادة من علاقتي F_{in} , n يمكن ترتيب الجدول التالي :

q_{Fin} , W/M^2	3000	3500	4000	4500	5000
F_{in} , M^2	83.33	71.43	62.5	55.55	50.0
n	116	99	87	77	69

- عدد رينولدز :

$$R_e = \frac{4G_w}{\mu.\pi.d_{in}\cdot n} = \frac{4G_w.H}{F_{in}.\mu}$$

$$R_e = \frac{4\times 11.96\times 4.5}{F_{in}\times 912.4\times 10^{-6}}$$

إذ :

$T_W = 297.5\ ^oK$ عند $\mu = 912.4 \times 10^{-6}$ Pa.Sec

ومنه يمكن وضع الجدول التالي لقيم R_e الموافقة لقيم q_{Fin} :

q_{Fin} , W/M^2	3000	3500	4000	4500	5000
R_e	2831.5	3303	3775	4247.5	4719

– معامل انتقال الحرارة من جهة الماء :

$$N_u = 0.01\ (\ Ga\ .\ p_r\ .\ R_e\ )^{1/3}$$

إذ :

Ga : عدد غاليليه ويتحدد بالعلاقة :

$$G_a = \frac{g.H^3}{\upsilon_w^2} = \frac{9.81\times(4.5)^3}{(0.916\times 10^{-6})^2} = 1.0654\times 10^{15}$$

إذ :

عدد براندل $p_r = 6.3$

اللزوجة الحركية $\nu = 0.916 \times 10^{-6}$ عند $T_W = 297.5$ ^oK

يبين الجدول التالي قيم عدد نسل الموافقة لكثافة التدفق الحراري q_{Fin} :

q_{Fin} , W/m^2	3000	3500	4000	4500	5000
N_u	26686	28092	29371	30549	31639
$\alpha_w = N_u.\lambda/H$, $W/m^2.K$	3302	3791	3963	4123	4270

إذ :

$$\lambda = 0.6073 \text{ w / m.}^{o}\text{K} \quad , \quad \alpha_w = (N_u \cdot \lambda)/ H$$

– معامل انتقال الحرارة بجهة وسيط التبريد منسوباً للسطح الداخلي للأنابيب:

نظام حركة غشاء المتكاثف عند $q_{wFin} = 5000 \text{ w / m}^2$:

$$R_e = \frac{q.H}{r.\rho.\nu} = \frac{5000 \times 4.5}{1146.34 \times 10^3 \times 595.2 \times 0.23 \times 10^{-6}}$$

$$R_e = 143.4$$

إذ : عند الدرجة $T = 303\ ^{o}K$ يكون بالنسبة للأمونيا :

$r = 1146.34$ kj/kg

$\rho = 595.2$ kg/m^3

$\nu = 0.23 \times 10^{-6}$ m^2 / Sec

بما أن $R_e < R_{ek}$ يمكن تحديد معامل انتقال الحرارة α_a من العلاقة التالية :

$$\alpha_a = 1.15_4 \sqrt{\frac{r.\rho^2.\lambda^3.g}{\mu.H.(T - T_s)}} \cdot \frac{d_{out}}{d_{in}}$$

$$\alpha_a = 1.15_4 \sqrt{\frac{1146.34 \times 10^3 \times (595.2)^2 \times (0.4745)^3 \times 9.81}{0.1373 \times 10^{-3} \times 4.5(T - T_s)}} \times \frac{57}{51}$$

$$\alpha_a = 6585(T - T_s)^{-1/4} \quad W / m^2.K$$

إذ :

$$\mu = 0.1373 \times 10^{-3} \text{ (pa.Sec)} \quad , \quad \lambda = 0.4745 \text{ w / m.}^{o}\text{k}$$

– حساب التدفق الحراري النوعي من العلاقتين :

$$q_{wFin} = \frac{T_s - T_w}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \qquad (1)$$

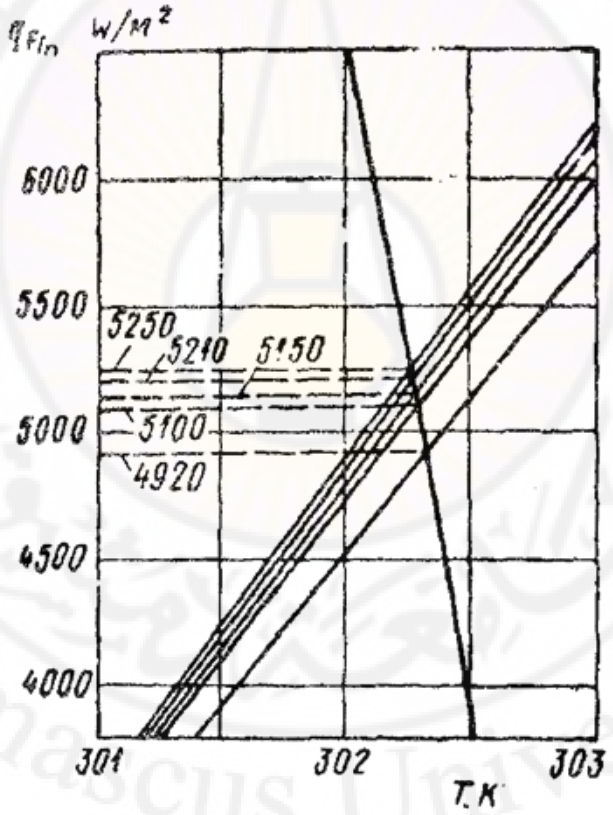
إذ :

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0.6 \times 10^{-3} \frac{m^2.k}{W}$$

$$q_{aFin} = \alpha_a \cdot (T - T_S) = 6585 (T - T_S)^{3/4} \qquad (2)$$

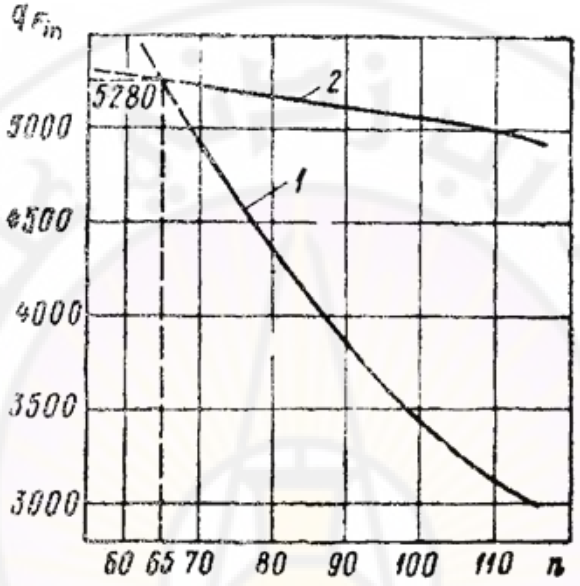
نعوض أولاً قيم α_W المحسوبة على أساس قيم q_{Fin} المفترضة ضمن المجال - 3000 W/m^2 5000 فنحصل على قيم q_{Fin} الحسابية بدلالة T_S حيث نمثل ذلك على المخطط a . ومن ثم نرسم المنحني الممثل للعلاقة (2) فنحصل على عدة نقاط تقاطع تحدد قيم q_{Fin} الحسابية وفق عدد الأنابيب :

المفترضة	q_{Fin}, W/m 2	3000	3500	4000	4500	5000
المحسوبة	q_{Fin}, W/m 2	4920	5100	5150	5210	5250



الشكل (a) $q_{Fin} = f(T)$

برسم الخطوط البيانية الممثلة للتدفق الحراري النوعي المفترض و المحسوب مع عدد الأنابيب n (الشكل b) نحصل على نقطة تقاطع تمثل قيمة التدفق الحراري الفعلي عند عدد محدد للأنابيب .



الشكل (b) $q_{Fin} = f(n)$

المنحني 1 قيم q_{Fin} المفروضة – المنحني 2 قيم q_{Fin} الحسابية

و منه :

عدد الأنابيب الفعلي $n = 65$

التدفق الحراري النوعي $q_{Fin} = 5280\ w / m^2$

$$F_{in} = Q / q_{Fin} = 250 \times 10^3 / 5280 = 47.35\ m^2$$

وللتحقق من عدد الأنابيب :

$$n = \frac{F_{in}}{\pi . d_{in} . H} = \frac{47.35}{\pi \times 0.051 \times 4.5} \approx 65$$

الفصل السابع

المبخرات

تقسم المبخرات بحسب الوسط الذي يتم تبريده إلى قسمين رئيسين هما :

١- مبخرات تقوم بتبريد سائل وسيط تبريد ثانوي وهي بدورها تقسم إلى :

a- مبخرات أنبوبية صندوقية من نوع الغمر.

b- مبخرات غمر صفائحية .

c- مبخرات أنبوبية صندوقية يتم فيها الغليان داخل الأنابيب .

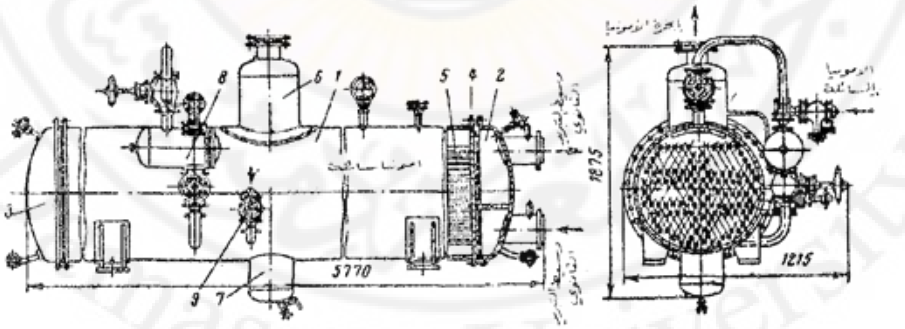
٢- مبخرات تقوم بامتصاص الحرارة من الهواء مباشرة وتقسم إلى :

a- مبخرات هوائية قسرية حيث تتم فيها حركة الهواء بشكل قسري .

b- مبخرات هوائية هادئة حيث تتم فيها حركة الهواء بشكل طبيعي .

1 - 7 - المبخرات التي تمتص الحرارة من سائل وسيط تبريد ثانوي :

يبين الشكل (1 - 7) مبخراً أنبوبياً صندوقياً من نوع الغمر عامل على الأمونيا .



الشكل (1 - 7) مبخر أنبوبي صندوقي يعمل على الأمونيا

يتألف هذا المبخر من هيكل أسطواني 1 يتصل مع معشقة الأنابيب 4 التي تقوم بوصل الغطاءين 3 ، 2 مع الأنابيب 5 .

بسبب وجود عدة صفائح حاجبة يتكون لدينا ضمن المبخر عدد من الممرات لسائل وسيط التبريد الثانوي حيث يخرج من الفتحة العلوية كما هو مبين في الشكل .

يتم دخول سائل وسيط التبريد عبر الفتحة 9 إلى الفراغ بين الأنابيب ويمكن أن يتم تنظيم دخول سائل وسيط التبريد بوساطة صمام التنظيم 8 بما يتناسب مع سوية سائل وسيط التبريد في المبخر . يحافظ على سوية سائل وسيط التبريد بحيث يشكل ارتفاع المنسوب بحدود 0.8 من قطر صندوق المبخر .

يتم تحرير البخار المتشكل من قطرات سائل وسيط التبريد العالقة به في مجفف البخار 6 حيث يذهب بعد ذلك إلى الضاغط .

يتجمع زيت التزييت الذي يدخل إلى المبخر في أسفل المبخر حيث يتم تصريفه دورياً من المبخر عبر القناة 7 .

يوجد على الغطاءين 3 , 2 صمام خاص لطرد الهواء كما يوجد على جسم المبخر مقياس ضغط و صمام أمان .

يستعمل في مبخرات الأمونيا الأنبوبية الصندوقية أنابيب فولاذية ملساء بقطر 25 x 3 mm كما تتراوح نسبة طول المبخر (الصندوق) إلى قطره ضمن المجال 8..4.

يتم ترتيب حزم الأنابيب بحيث تبقى المسافة ما بين أنبوب وآخر مساوية 8mm كما يكون عدد ممرات وسيط التبريد الثانوي محدداً بحيث يمكن أن تكون قناتا دخول السائل وخروجه من غطاء واحد ، وفق المبخرات المنتجة حالياً يكون عدد الممرات فيها أربعة أو ثمانية .

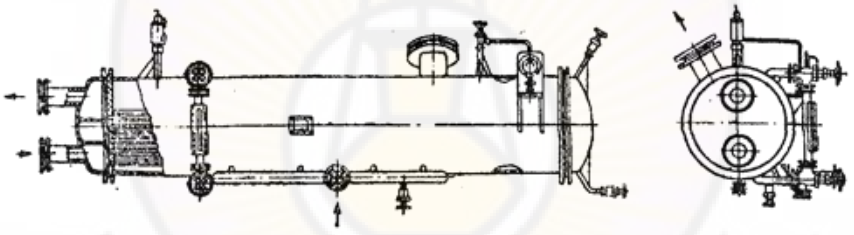
تتراوح سرعة وسيط التبريد الثانوي ضمن المجال 1..1.5 m / Sec كما تتراوح قيمة التيار الحراري النوعي ضمن المجال $q = 2300 - 2600\ w / m^2$ عندما يكون فرق درجة الحرارة ما بين وسيط التبريد الرئيس و الثانوي بحدود 5^oC .

يبين الشكل (2 - 7) مبخراً أنبوبياً صندوقياً يعمل على الفريون إذ تتميز المبخرات الفريونية بوجود أنابيب نحاسية مزودة بريش ملحومة بحيث تكون نسبة السطحين الداخلي و الخارجي مساوية $F_{out} / F_{in} = 3.5$. في المبخرات المستخدمة في حقل تكييف الهواء يمكن اعتماد الأنابيب الملساء غير المريشة و السبب في ذلك أن معامل التوصيل الحراري للفريون R-22 أكبر من معامل التوصيل الحراري للفريون R-12 بنسبة % 30 .. 20 .

عند تصميم المبخرات الفريونية وبسبب ارتفاع كلفة الأنابيب المريشة بالمقارنة مع كلفة الأنابيب الملساء يعتمد عادة فرق درجات حرارة يقع في المجال $\theta = 6 .. 8\ ^oC$.

يؤخذ ارتفاع سوية سائل وسيط التبريد أخفض منه بالنسبة لارتفاع سوية سائل الأمونيا وذلك بسبب أنه عند غليان الفريون يتشكل زبد يسببه وجود زيت التزييت مع الفريون إذ يرتبط مستوى السائل الفريوني بمقدار الحمل الحراري للمبخر أو درجة الحرارة الوسطية في المبخر وعلى سبيل المثال فإنه عندما تكون $\theta = 7^oC$ يؤخذ ارتفاع الفريون نحو 0.6 من قطر المبخر.

تساوي قيمة التدفق الحراري النوعي للمبخرات الفريونية ذات الأنابيب النحاسية المريشة عند $t_o = -10^oC$ وسرعة وسيط التبريد الثانوي $W_S = 1 .. 1.5\ m/Sec$: $q_{Fin} = 7000 .. 9300\ w/m^2$ أما عندما تكون $t_o = -25\ ^oC$ و $W_S = 1.5\ m/Sec$ فإن $q_{Fin} = 4500\ w/m^2$ و عندما تكون $W_S = 2.5\ m/Sec$ فإن $q_{Fin} = 7000\ w/m^2$

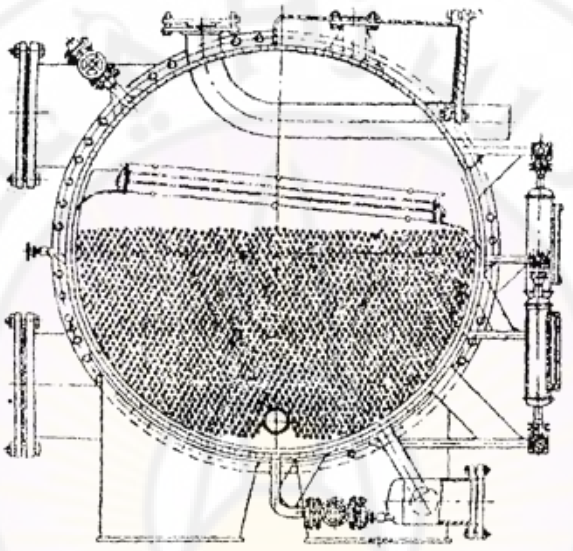


الشكل (2 - 7) مبخر أنبوبي صندوقي للفريونات

تتميز مبخرات آلات التبريد التي تحتوي ضاغط توربينياً بأن صندوق المبخر لا يمتلئ بالأنابيب كما في مبخرات آلات التبريد العادية ، كما ويوضع فوق الأنابيب حجاب فاصل من أجل فصل قطرات السائل الفريوني العالقة في البخار.

إن الصفة الرئيسة لهذه المبخرات – الشكل (3 - 7) – هي السرعة الكبيرة لوسيط التبريد الثانوي والتي تساوي 2.5 m/Sec وبسبب عدم وجود زيت التزييت مع وسيط التبريد ترتفع قيمة معامل الانتقال الحراري من جهة وسيط التبريد المتبخر بحيث تصل قيمة الحمل الحراري النوعي لهذا النوع من المبخرات منسوباً لمساحة السطح الداخلي إلى 15000 w/m^2 .

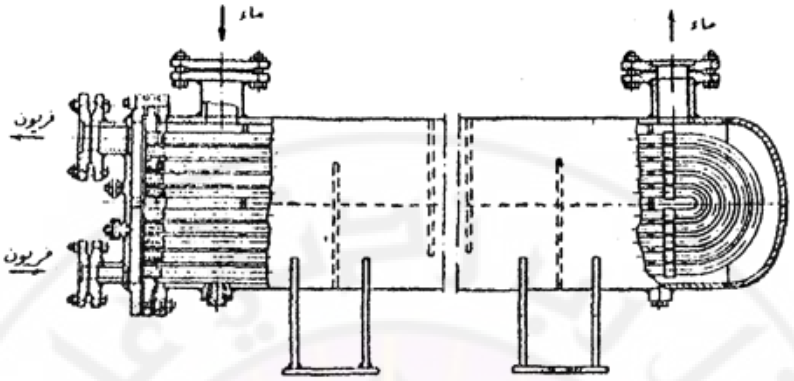
في المبخرات الأفقية الأنبوبية الصندوقية والتي تعمل في الوقت نفسه كمبخر – مكثف حيث تتكاثف أبخرة الفريون R-13 على حساب تبخر سائل الفريون R-22 يتم غليان وسيط التبريد (R-22) في الفراغ الكائن بين الأنابيب أما الفريون R-13 فيتم تكاثفه داخل الأنابيب .



الشكل (3 - 7)

في محطات التبريد المتوسطة والمخصصة لتبريد الماء فإنه من المفضل استعمال مبخرات يتم غليان وسيط التبريد فيها داخل الأنابيب بينما يجري الماء المبرد في الفراغ مابين الأنابيب في هذه الحالة يمكن الحصول على درجة حرارة غليان تصل إلى (^{o}C 3- .. 2-) ودرجة حرارة خروج المياه المبردة تساوي (^{o}C 3 .. 2) وهذا يبعد احتمال حدوث تجمد للمياه داخل المبخر حيث إن هذا الاحتمال وارد في المبخرات التي يتم فيها غليان وسيط التبريد في الفراغ بين الأنابيب

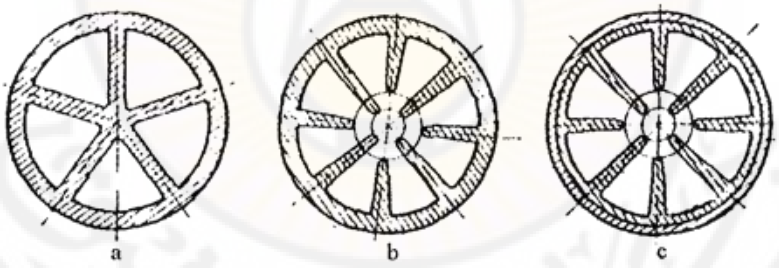
يبين الشكل (4 - 7) مبخرا من هذا النوع .



الشكل (4 - 7) مبخر صندوقي – الغليان يتم داخل الأنابيب

من أجل زيادة معامل الانتقال الحراري الكلي لمثل هذه المبخرات ، فإنه يتم استعمال أنابيب مريشة داخلياً وهذا مما يقلل من قيمة المقاومة الحرارية من جهة وسيط التبريد المتبخر .

يبين الشكل (5 - 7) بعض النماذج للريش الداخلية .



الشكل (5 - 7)

يمكن استعمال هذا النوع من المبخرات أيضاً من أجل تبريد وسيط تبريد ثانوي وفي هذه الحالة يعمد لزيادة فعالية التبادل الحراري من جهة وسيط التبريد الثانوي إلى وضع فواصل خاصة متعامدة مع الأنابيب .

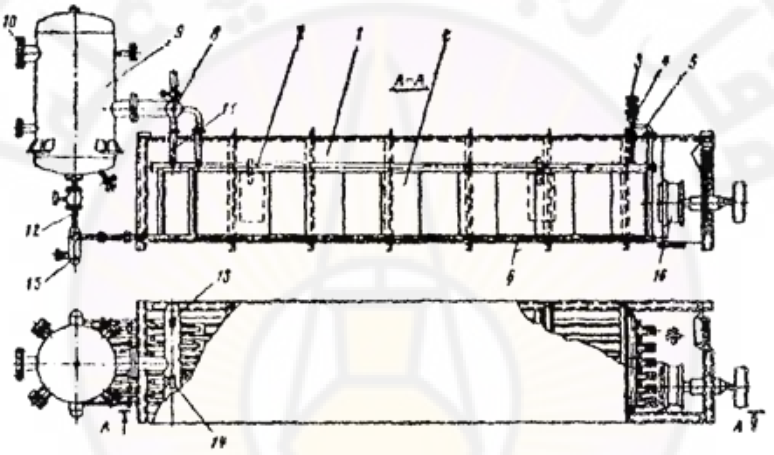
تتميز المبخرات الصندوقية الأنبوبية التي يتم فيها غليان وسيط التبريد داخل الأنابيب بإمكاني التقليل من كمية وسيط التبريد في المجموعة بحدود (3 .. 2) مرة بالمقارنة مع المبخرات العادية.

2 - 7 – المبخرات الصفائحية :

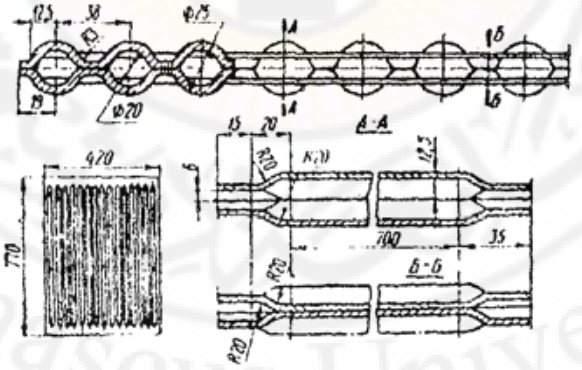
يبين الشكل (6 - 7) مبخراً صفائحياً يتألف من حوض على شكل متوازي المستطيلات 1 توضع فيه مقاطع تبخرية متوازية .

يتألف كل مقطع من ألواح 2 متصلة مع بعضها بوساطة أنابيب تجميعية .

يتألف اللوح الواحد من صفيحتين ذات شكل خاص متصلتين مع بعضهما باللحام الشكل (7 - 7) .



الشكل (6 - 7) المبخر الصفائحي



الشكل (7 - 7)

يدخل سائل وسيط التبريد من الصمام 3 إلى مجمع 4 وبوساطة القناة 5 يذهب إلى المجمع الأفقي السفلي 6 إذ يتم توزيع سائل وسيط التبريد على أقنية الألواح الشاقولية . يساق

بخار وسيط التبريد المتشكل عبر المجمع العلوي 7 والمجمع 8 ومنه إلى فاصل السائل 9 حيث يذهب إلى الضاغط عبر الفتحة 10 .

يتم فصل قطرات السائل العالقة بالبخار في المجمع 8 ووعاء الفصل 9 حيث يتم إعادة السائل المتجمع إلى المجمع السفلي 6 عبر الأنبوبين 11 و 12 .

في مجمع البخار 8 يوضع صمام أمان 13 ومقياس ضغط 14، أما مهمة المجمع الصغير 15 فهي تجميع زيت التزييت والترسبات وطرحها. يتحرك وسيط التبريد الثانوي على طول الحوض بتأثير الخلاط 16.

تبلغ قيمة الحمل الحراري النوعي لهذه المبخرات في حالة عملها على الأمونيا بحدود (2900 .. 3500 w/m^2). تتميز هذه المبخرات بأن وزنها أقل من وزن المبخرات التي سبق ودرسناها بحدود 30% .. 25 كما أن كلفتها التأسيسية أقل بالإضافة إلى أنها تقلل من حجم مجموعة التبريد وبخاصة فيما يتعلق بمجمع السائل.

3- 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات :

عند إجراء حسابات المبخرات يجب أن يكون لدينا المعطيات التالية :

نوع وسيط التبريد – الإنتاجية – الإنتاجية التبريدية Q_O – درجة حرارة دخول وخروج وسيط التبريد الثانوي – درجة حرارة غليان وسيط التبريد ضمن الشروط التالية :

$\theta_t = 5 .. 7 \ ^oC$

$\Delta t_S = 3 .. 5 \ ^oC$

نحسب سطح التبادل الحراري للمبخر بالعلاقة :

$$F = Q_O / (K . \theta_t) \qquad (7 - 1)$$

أو :

$$F = Q_O / q_F$$

إذ : q_F : التدفق الحراري النوعي .

θ_t : فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغاريتمي.

في المبخرات الأنبوبية الصندوقيةتحسب θ_t من العلاقة التالية :

$$\theta_t = \frac{t_{st1} - t_{st2}}{\ln \frac{t_{st1} - t_o}{t_{st2} - t_o}} \qquad (7-2)$$

إذ :

t_{st_1} : درجة حرارة دخول وسيط التبريد الثانوي .

t_{st_2} : درجة حرارة خروج وسيط التبريد الثانوي .

t_o : درجة حرارة الغليان .

في المبخرات الصفائحية تحسب θ_t من العلاقة :

$$\theta_t = t_{st_2} - t_o \qquad (7-3)$$

لتحديد معامل الانتقال الحراري الكلي فإنه يجب معرفة معامل الانتقال الحراري مابين وسيط التبريد و سطح الأنبوب من جهة وما بين سطح الأنبوب ووسيط التبريد الثانوي من جهة أخرى بالإضافة إلى المقاومة الحرارية لجدار الأنبوب أو الصفيحة مع الأخذ بالحسبان احتمال وجود ترسبات على جدران سطح التبادل الحراري .

تتراوح قيمة المقاومة الحرارية لجدران الأنابيب أو الصفائح للمبخرات العاملة على الأمونيا بما في ذلك مقاومة الترسبات ضمن المجال :

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = (0.7..0.9) \times 10^{-3} \left[\frac{m^2.k^o}{w} \right]$$

أما بالنسبة للمبخرات الفريونية ذات الأنابيب الفولاذية وغير المريشة والعاملة على الفريون R-22 فتبلغ قيمة المقاومة الحرارية :

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = (0.45..0.6) \times 10^{-3} \left[\frac{m^2.k^o}{w} \right]$$

إذا كانت الأنابيب ملساء (غير مريشة) و من النحاس فإن المقاومة الحرارية تتراوح ضمن المجال : $m^2.k/w$ $x10^{-3}$ (0.2 ..0.3)

4 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الأنبوبية الصندوقية (الغليان يتم خارج الأنابيب):

في هذه المبخرات يتحدد معامل الانتقال الحراري الكلي منسوباً للسطح الداخلي للأنابيب F_{in} بالمعادلة التالية :

$$K_{Fin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{F_{in}}{\alpha_a . F_{out}}} \qquad (7 - 4)$$

إذ :

α_s : معامل انتقال الحرارة مابين وسيط التبريد الثانوي وجدار الأنابيب .

α_a : معامل انتقال الحرارة مابين وسيط التبريد وجدار الأنبوب .

يحسب معامل انتقال الحرارة α_s في حالة الجريان المضطرب $R_e > 10000$ من العلاقة:

$$\alpha_s = N_u \cdot \lambda_s / d_{in} \qquad (7 - 5)$$

إذ :

$$N_u = 0.021 \times R_e^{0.8} \times P_r^{0.43} \times \varepsilon_l \qquad (7 - 6)$$

وهذه العلاقة مرت معنا سابقاً أثناء حساب المكثفات الأنبوبية .

عندما يكون نظام الجريان لدينا انتقالياً أي :

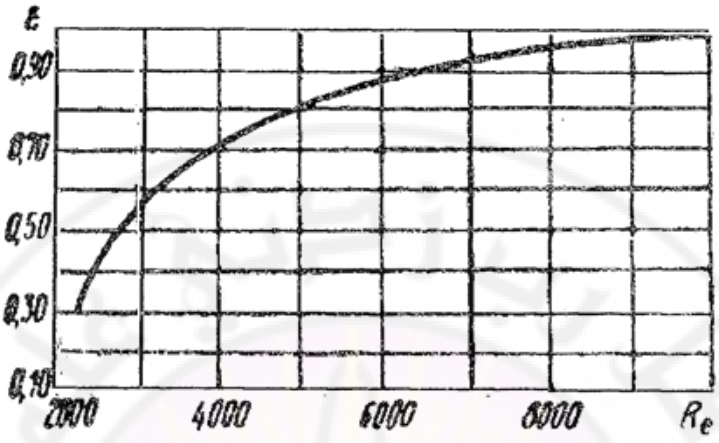
$$2300 < R_e < 10000$$

يحسب عدد نسل من العلاقة التالية :

$$N_u = 0.021 \times R_e^{0.8} \times P_r^{0.43} \times \varepsilon \qquad (7 - 7)$$

إذ ε معامل تصحيح نحصل عليه من المخطط البياني التالي :

$$\varepsilon = f(R_e)$$



الشكل (8 - 7)

أما عندما يكون الجريان لزجاً (صفائحياً) فتحسب α_s من المعادلة :

$$N_u = 1.54\left(\frac{R_e.P_r}{\ell/d}\right)^{1/3}.\left[1+0.01\left(\frac{R_e}{\ell/d}\right)^{2/3}\right] \qquad (7-8)$$

تتراوح النسبة ℓ/d بالنسبة للمبخرات الأنبوبية الصندوقية ضمن المجال .. 150 300 كما تجدر الملاحظة بأن الأعداد اللا قياسية الداخلة في المعادلات:

(6 - 7) و (7 - 7) و (8 - 7) تحدد عند درجة حرارة وسطية تعين بالعلاقة:

$$t_{sm} = t_o + 0_t$$

يمكن حساب معامل انتقال الحرارة a من جهة الفريونات عندما q =1000÷1500w/m2 بالعلاقة التقريبية التالية :

$$\alpha_a = \alpha_{a,1} \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_p \cdot \varepsilon_n \qquad (7-9)$$

إذ :

$\alpha_{a,1}$: معامل انتقال الحرارة الأنبوب وحيد.

ε_m , ε_p , ε_n : معاملات لا قياسية تأخذ بالحسبان تأثير زيت التزييت والريش وشكل توضع حزمة الأنابيب .

في المعادلة (9 - 7) $\alpha_{a,1}$ منسوبة لسطح الأنبوب الخارجي و يمكن إيجادها بالنسبة للفريونات من العلاقة التالية :

$$\alpha_{a,1} = A_k \cdot q^{0.75} \qquad (7 - 10)$$

أو من العلاقة :

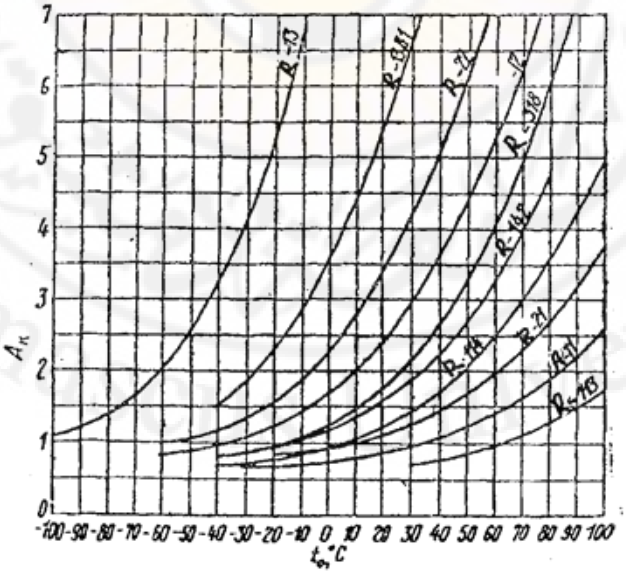
$$\alpha_{a,1} = A_K^4 . \theta_a^3 \qquad (7 - 11)$$

إذ :

A_k : معامل يتبع لخواص السائل ودرجة حرارة الغليان بالإضافة إلى خشونة سطح الأنابيب .

θ_a : فرق درجات الحرارة ما بين السطح الخارجي للأنبوب ودرجة حرارة الغليان.

يبين الشكل (9 - 7) قيمة العامل A_k لأنواع متعددة من الفريونات عند خشونة أنابيب قدرها $R_Z = 4$ micron .



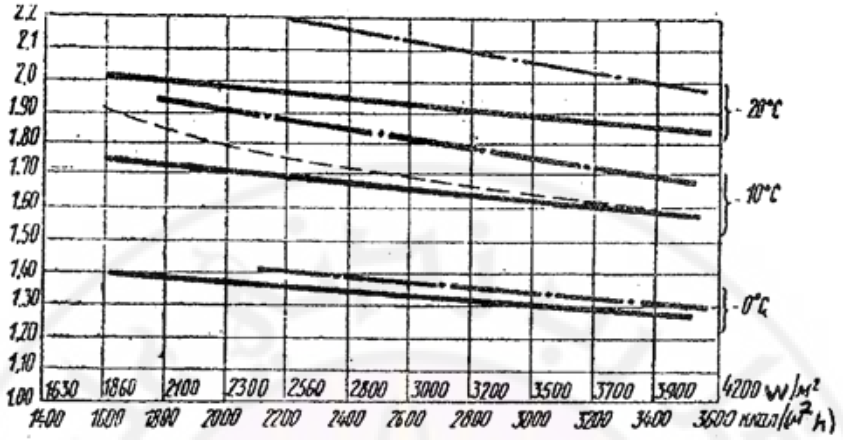
الشكل (9 - 7)

كما يمكن تحديد قيمة العامل ε_m من الجدول التالي :

q [W/m^2]	$\xi = 5$ %		نسبة زيت التزييت % $\xi = 10$			
	t_o [C^o]	ε_m	t_o [C^o]	ε_m	t_o [C^o]	ε_m
1000	-30.. 0	0.95	-30..20	0.89	0	0.80
2000	-30.. 0	0.90	-30..20	0.82	0	0.76
4000	-30.. 0	0.84	-30..20	0.70	0	0.65
6000	-30.. 0	0.80	-30..20	0.64	0	0.57

كما تؤخذ قيمة العامل ε_p بالنسبة للأنابيب المجهزة بريش ملحومة ضمن المجال . 1.3 ..1.1 . تتبع قيمة العامل. ε_n لدرجة حرارة الغليان و لشدة التدفق الحراري ولعدد صفوف الأنابيب بالإضافة إلى نسبة الخطوة للحزمة .

يعطي الشكل (10 - 7) القيمة الوسطية لـ ε_n . في حالة الفريون R-22 وعندما يكون عدد الأنابيب بالعمق 15 .. 10 .



الشكل (10 - 7) قيم ε_n للفريون R-22

ε_n ——— عندما s/d = 1.45

ε_n . ------ عندما s/d = 1.3

ε_n · ------ عندما s/d = 1.15

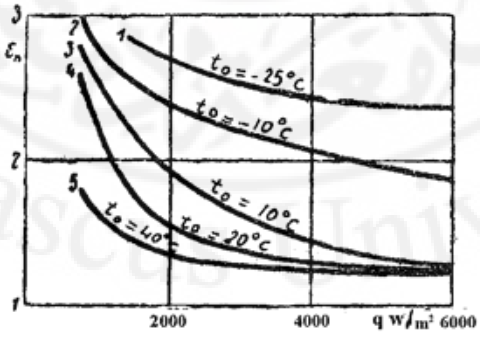
كما يعطي الشكل(11 - 7) قيم ε_n بالنسبة للفريون R-12 .

من المعادلتين (9 - 7) و (11 - 7) نحصل على :

$$\alpha_a = A_K^4 . \theta_a^3 . \varepsilon_m . \varepsilon_p . \varepsilon_n \qquad . (7 - 12)$$

تحسب قيمة معامل انتقال الحرارة عند غليان الأمونيا على حزمة أنابيب ملساء عندما :

$t_o = -40 .. -20\ ^oC$ و $q = 1000 .. 11000\ (w / m^2)$



الشكل (11 - 7) قيم ε_n . للفريون R-12 .

من العلاقة التالية :

$$\alpha_a = 45 \cdot q^{0.4} \qquad (7 - 13)$$

أو :

$$\alpha_a = 580\ \theta_a^{0.67} \qquad (7 - 13`)$$

كما نرى من المعادلة (14 - 6) نجد أن قيمة معامل انتقال الحرارة α_a تتبع لفرق درجات الحرارة θ_a الذي يكون مجهولاً في بداية الحسابات ، لذلك يتم حساب قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي K_{Fin} باستخدام المعادلة (4 - 7)بطريقة التقريب الداخلي أو بالطريقة البيانية .

في الطريقة الأولى يتم إعطاء θ_a القيمة $\theta_a = 0.5\ \theta_t$ ثم نحسب قيمة α_a و K_{Fin} واستناداً لقيم α_a و K_{fin} المحسوبة نحسب قيمة θ_a من العلاقة التالية :

$$\theta_a = \frac{K_{Fin} \cdot \theta_t}{\alpha_a} \cdot \frac{F_{in}}{F_{out}} \qquad (7 - 14)$$

فإذا كانت قيمة θ_a المحسوبة وفق المعادلة الأخيرة مختلفة عن القيمة المفترضة ($\theta_a = 0.5\ \theta_t$) نعيد الحسابات على أساس قيمة جديدة لـ θ_a إلى أن يتم التطابق.

يتم تحديد التيار الحراري نوعين من العلاقة :

$$q_{Fin} = K_{Fin} \cdot \theta_t \qquad (7 - 15)$$

كما يمكن تحديد طول أنابيب المبخر L ومعامل الانتقال الحراري الكلي منسوباً للسطح الخارجي K_{fout} و التدفق الحراري النوعي منسوباً للسطح الخارجي q_{Fout} من العلاقات التالية :

$$L = F_{in} / (\pi \cdot d_{in}) \qquad (7 - 16)$$

$$K_{Fout} = K_{Fin} \cdot \beta \qquad (7 - 17)$$

$$q_{Fout} = q_{Fin} \cdot \beta \qquad (7 - 18)$$

إذ :

$$\beta = F_{in} / F_{out}$$

يمكن تحديد التدفق الحراري النوعي q_{Fin} بيانياً حيث نوجد في البداية التدفق الحراري النوعي من وسيط التبريد الثانوي إلى الجدران مع الأخذ بالحسبان جميع المقاومات الحرارية بالعلاقة التالية :

$$q_{s,Fin} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (7 - 19)$$

بإعطاء قيمتين اختياريتين للمقدار $\theta_S = t_{st} - t_S$ مثلاً $\theta_S = 0$ و $\theta_S = 0.5$

θ_t يمكن رسم المنحني البياني الممثل للتابع $q_{s,Fin} = f(\theta_S)$ – انظر الشكل (7 - 12) .

نكتب معادلة التدفق الحراري النوعي بجهة وسيط التبريد منسوباً للسطح الداخلي للأنابيب بالشكل :

$$q_{a,Fin} = \alpha_a \cdot \theta_a \cdot (F_{out} / F_{in}) \qquad (7 - 20)$$

بالنسبة للفريونات وبأخذ المعادلة (7 - 12) بالحسبان نجد :

$$q_{a,Fin} = B \cdot \theta_a^{4} \cdot (F_{out} / F_{in}) \qquad (7 - 21)$$

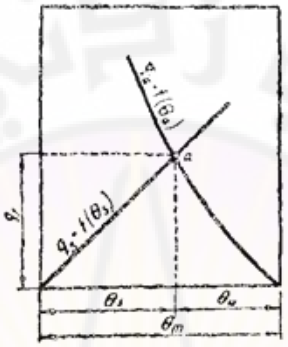
إذ :

$$B = A_k^{4} \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_p \cdot \varepsilon_n$$

أما بالنسبة للأمونيا استناداً للمعادلة (7 - 14) تتحدد $q_{a,Fin}$ بالعلاقة التالية :

$$q_{a,Fin} = 580 \cdot \theta_a^{1.67} \cdot (F_{out} / F_{in}) \qquad (7 - 22)$$

في المعادلة (21 - 7) أو (22 - 7) – حسب نوع وسيط التبريد – نعطي عدة قيم لـ θ_a تتراوح ضمن المجال $0 \le \theta_a \le \theta_t$ ونوجد القيم المقابلة لـ $q_{a,Fin}$ ومن ثم نرسم المنحني $q_{a,Fin} = f(\theta_a)$.



الشكل (12 - 7)

تتحدد بنقطة التقاطع a القيمة الحقيقية لـ q_{Fin} ومنه يمكن حساب قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي بالعلاقة :

$$K_{Fin} = q_{Fin} / \theta_t \qquad (7 - 23)$$

5 - 7 –الحسابات الحرارية للمبخرات الأنبوبية الصندوقية (الغليان فيها يتم داخل الأنابيب) :

في هذا النوع من المبخرات يكون من الأسهل حساب معامل الانتقال الحراري الكلي والتدفق الحراري النوعي منسوبين للسطح الخارجي للأنابيب غير المريشة F_{out} .

$$q_{Fout} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{F_{out}}{\alpha_a \cdot F_{in}}} \qquad (7 - 24)$$

في حالة الأنابيب المريشة يكون : $\beta = (F_{in} / F_{out})$.

في حالة الأنابيب غير المريشة يكون : (d_{out} / d_{in}). $= (F_{out} / F_{in})$.

تكون حركة سائل وسيط التبريد الثانوي ذات طبيعة معقدة حيث تتم حركة السائل بشكل عرضي بالنسبة للأنابيب ومن ثم يصبح الجريان طولانياً في مرحلة لاحقة .

وبما أن الطبيعة العرضية للجريان هي الغالبة لذلك يتم حساب معامل الانتقال الحراري على هذا الأساس وفق العلاقة التالية :

$$N_u = C.R_e^m.P_r^{0.36} \qquad (7-25)$$

في هذه المعادلة تحسب جميع القيم على فرض أن قطر الأنبوب هو القطر الخارجي ودرجة الحرارة هي درجة الحرارة الوسطية لسائل وسيط التبريد الثانوي كما تعتبر السرعة عند أضيق مقطع .

تؤخذ قيم c و m وفق الأنظمة المختلفة الجريان من الجدول التالي :

نوع الجريان.	حزم متوازية		حزم شطرنجية		
	C	m	C	m	a/b
جريان لزج $R_e < 10^3$	0.52	0.5	0.6	0.5	-
جريان مختلط $R_e = 1x10^3$ .. $2x10^5$	0.27	0.63	$0.36(a/b)^{0.2}$	0.6	2
جريان مضطرب $R_e > 2x10^5$	0.02	0.84	0.021	0.84	-

إذ :

الخطوة النسبية العرضية – $a = S_1 / d$, $b = S_2 / d$ – الخطوة النسبية الطولية.

يحسب معامل انتقال الحرارة α_a من جهة الفريون داخل الأنبوب الأملس من العلاقة التالية:

$$\alpha_a = \frac{q_a^{0.6} \times G_a^{0.2}}{d_{in}^{0.6}}.A \qquad (7-26)$$

أو

$$\alpha_a = 0.95 \times q_a^{0.6} \left(\frac{w \cdot \rho}{d_{in}} \right)^{0.2} .A \qquad (7 - 27)$$

إذ :

G_a : معدل تدفق السائل Kg / Sec

A : معامل يتبع للخواص الفيزيائية لوسيط التبريد ولدرجة حرارة الغليان.

w : سرعة السائل عند الدخول إلى الأنابيب m / Sec وتؤخذ ضمن المجال

$w = 0.05 .. 0.15$ m / Sec

ρ : كثافة السائل عند الدخول إلى الأنابيب Kg / m^3 .

الجدول التالي يعطي قيم الثابت A :

درجة حرارة الغليان $t_o[^oC]$	A			
	R-11	R-12	R-22	R-142
-30	0.345	0.883	0.993	0.606
-10	0.497	1.09	1.22	0.763
+10	0.63	1.28	1.54	0.94

بالنسبة للأنابيب ذات الريش الداخلية تحسب قيمة α_a وفق المعادلة (27 - 7) بعد أن يؤخذ القطر المكافئ بدلاً من القطر الداخلي.

العلاقتان (26 - 7) و (27 - 7) تعطيان قيمة α_a عند تغير كسر جفاف السائل الذي يغلي ضمن المجال $0 \le X \le 0,95$.

عندما يكون كسر جفاف بخار وسيط التبريد الخارج من المبخر مساوياً $x = 0.9 ..$ 0.95 يمكن حساب كمية وسيط التبريد المارة عبر أنابيب المبخر من العلاقة :

$$G_a = \frac{Q_o}{(i' - i_1) + r.x} \qquad (7 - 28)$$

إذ :

i` : انتالبي السائل المشبع .

i_1 : انتالبي السائل عند دخوله إلى المبخر .

r : حرارة التبخر الموافقة لدرجة حرارة الغليان .

في حالة دخول بخار رطب درجة جفافه x_H إلى المبخر فإن كمية وسيط التبريد تحسب من العلاقة :

$$G_a = \frac{Q_o}{r(x - x_H)} \qquad (7 - 29)$$

ومن جهة أخرى يمكن حساب كمية وسيط التبريد من العلاقة :

$$G_a = \frac{\pi . d_{in}^2}{4} \times \rho \times w \times n \qquad (7 - 30)$$

بمساعدة المعادلتين (7 - 29) و (7 - 30) يمكن إيجاد السرعة w أو عدد الأنابيب n .

عند تصميم مبخرات أنبوبية صندوقية عاملة على الأمونيا بحيث تتم عملية الغليان داخل الأنابيب يمكن استعمال المعادلة التقريبية التالية لإيجاد α_a :

$$\alpha_a = \alpha_w \sqrt{1 + \frac{\alpha_n}{\alpha_c}} \qquad (7 - 31)$$

بنيت العلاقة (7 - 31) على أساس فرضية حركة السائل وغليانه في الوقت نفسه.

α_c : معامل انتقال الحرارة عند وجود حركة قسرية داخل الأنابيب ويتم حسابه بإحدى المعادلات (7 - 7) أو (8 - 7) .

α_n : تحسب تقريبياً من أجل حالة الغليان على الأنبوب :

$$\alpha_c = \alpha_c \sqrt{1 + \frac{\alpha_p}{\alpha_c}} \qquad (7 - 32)$$

إذ :

α_c : معامل الانتقال الحراري عند غليان منظور [$W / m^2.k^o$] .

α_p : معامل الانتقال الحراري عند غليان غير منظور .

للأمونيا عند : t_o = -30 .. -10 ^oC فإن :

$$\alpha_c = 74.5 . d_{in}^{-1/5} . q^{1/5} \qquad (7 - 33)$$

أو

$$\alpha_c = 220\left(\frac{\theta}{d_{in}}\right)^{1/4} \qquad (7-34)$$

كما أن :

$$\alpha_p = 2.18 \times q^{0.7} \times p^{0.21} \qquad (7-35)$$

أو :

$$\alpha_p = 13.7 \times \theta^{2.33} \times p^{0.7} \qquad (7-36)$$

يحسب التدفق الحراري النوعي منسوباً للسطح الخارجي بالعلاقة :

$$q_{Fout} = K_{Fout} \cdot \theta_t \qquad (7-37)$$

يمكن إيجاد قيم q_{Fout} و K_{Fout} و α_a بطريقة التقريب الداخلي أو بالطريقة البيانية كما رأينا سابقاً.

في الطريقة البيانية تحسب كل من q_s و q_a بالنسبة للسطح الخارجي F_{out} وفق العلاقتين التاليتين :

$$q_{a,Fout} = \alpha_a \cdot \theta_a \cdot (F_{in} / F_{out}) \qquad (7-38)$$

$$q_{s,Fout} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (7-39)$$

6 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الصفائحية :

نحسب قيمة معامل انتقال الحرارة بجهة وسيط التبريد الثانوي في حالة الجريان اللزج بالعلاقة:

$$N_u = 0.66 . R_e^{0.5} . P_r^{0.33} \qquad (7-40)$$

إذ :

$$N_u = \alpha_s \cdot \ell / \lambda \qquad , \qquad R_e = w.\ell / \nu$$

ℓ : طول اللوح Panel على طول جريان التيار .

ν : اللزوجة الحركية لوسيط التبريد عند درجة حرارة وسطية للسائل .

λ : معامل التوصيل الحراري للوسيط الثانوي عند درجة حرارة وسطية.

في حالة الجريان المضطرب يعطى عدد نسل بالعلاقة :

$$N_u = 0.037.R_e^{0.8}.P_r^{0.43} \qquad (7-41)$$

إذ تحسب السرعة w كسرعة وسطية بين أضيق وأعرض تضيق .

يحسب معامل الانتقال الحراري α_a بالنسبة للأمونيا من المعادلة (7 - 31) أما بالنسبة للفريونات فيحسب من العلاقة (7 27) .

لتحديد سطح الألواح في حالة الأمونيا يمكن تقريبياً استخدام القيمة التجريبية $q_r = 2000...3000\ w/m^2$:

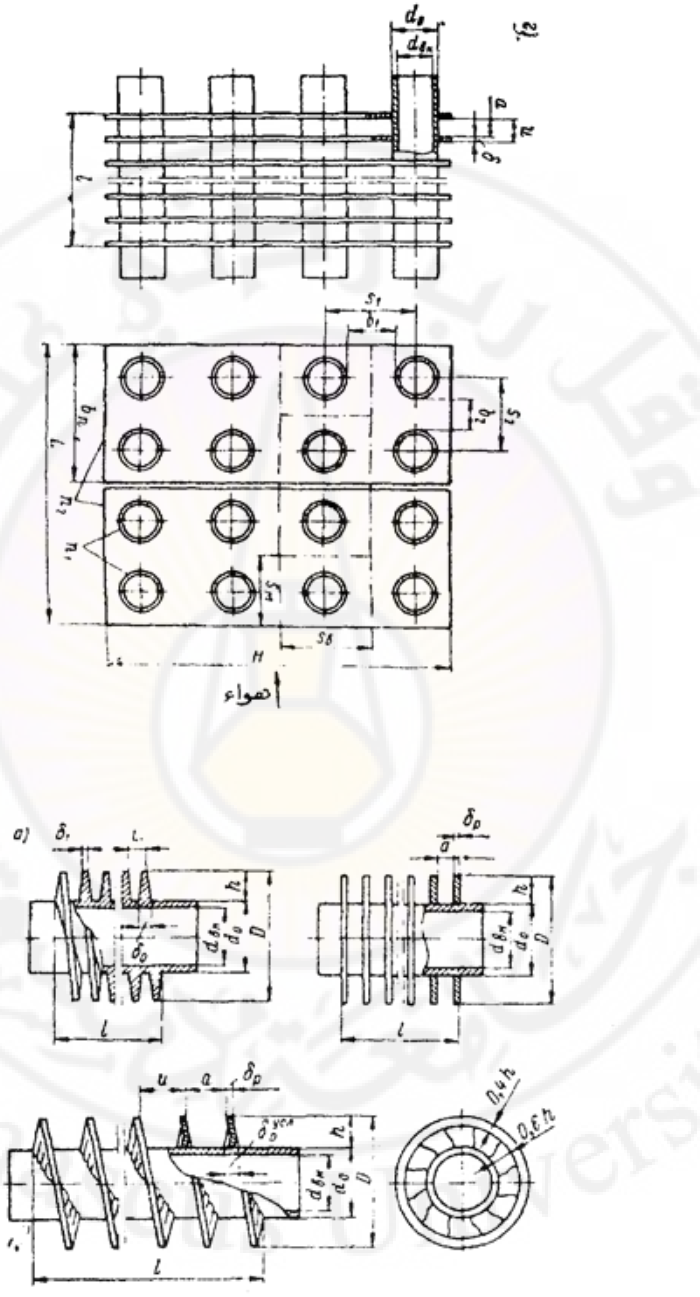
هذا التيار الحراري النوعي وجد عند : $\theta_t = 5\ ..\ 6\ ^oC$ و $t_o = -15\ ..\ 0$ ^oC و $w_s = 0.6\ m/Sec$ وعند استخدام $CaCl_2$ كوسيط تبريد ثانوي.

7 – 7 – المبخرات الهوائية الجافة :

المبخر الهوائي الجاف ، هو مبخر أنبوبي عادي يمر وسيط التبريد داخل الأنابيب (أو وسيط التبريد الثانوي) بينما يمر الهواء حول الأنابيب التي غالباً ما تكون مريشة .

أما المبخرات التي يتم فيها تبادل الحرارة ما بين الهواء ووسيط التبريد بالتماس المباشر فتسمى المبخرات الرطبة .

في المبخرات الهوائية الجافة ونظراً لانخفاض قيمة معامل انتقال الحرارة ما بين الهواء والسطوح الخارجية للأنابيب بالمقارنة مع معامل انتقال الحرارة من جهة وسيط التبريد فإنه يتم عادةً تريش السطح الخارجي للأنابيب إذ نميز عدة أنواع من هذه الريش مبينة في الشكل (7 - 13) .



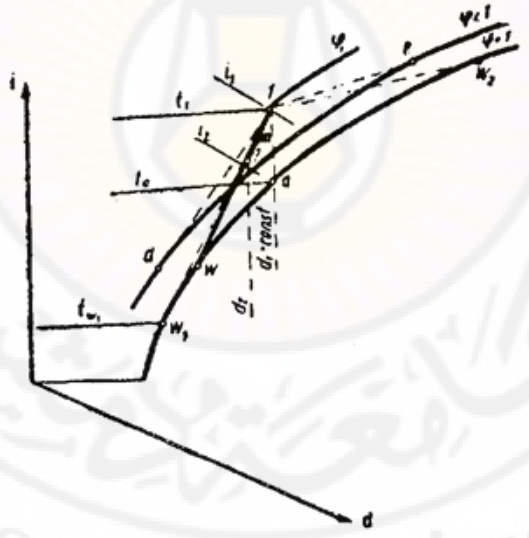
الشكل (13 - 7) أشكال الريش

8 - 7 – الحسابات الحرارية للمبخرات الهوائية الجافة :

قبل الخوض في الحسابات الحرارية للمبخرات الهوائية الجافة ينبغي معرفة الخواص الأساسية لعملية التبادل الحراري في هذه المبخرات. بشكل عام يحتوي الهواء الملامس لسطوح المبخر الجاف نسبة من الرطوبة تتكاثف بشكل قطرات على سطح التلامس البارد .

أما في حالة المبخرات الرطبة فيتم اختلاط قطرات الماء المتكاثفة مع وسيط التبريد الثانوي . في الشكل (14 - 7) تعبر النقطة 1 عن خواص الهواء عند مدخل المبخر أما النقطة 2 فتعبر عن حالة الهواء عند المخرج .

النقطة w تعبر عن حالة الهواء الملامس مباشرة لسطوح المبخر .



الشكل (14 - 7)

يتحدد ميل المستقيم w - 1 بالعلاقة :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i_1 - i_w}{d_1 - d_w} = \frac{i_1 - i_2}{d_1 - d_2}$$

إذ :

d_1, i_1 : هما الأنتالبي والرطوبة للهواء عند الدخول إلى المبخر .

d_2, i_2 : هما الأنتالبي والرطوبة للهواء عند الخروج من المبخر .

d_w, i_w : انتالبي ورطوبة الهواء المشبع الملامس لسطوح المبخر .

يمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل :

$$\bar{\varepsilon} = Q_o / W_o \qquad (7 - 42)$$

إذ :

Q_o : كمية الحرارة التي يفقدها الهواء أثناء عبوره للمبخر .

W_o : كمية الماء المتكاثفة على سطوح المبخر .

إن مجال تغير درجة حرارة سطح التبريد يصف عمل مبرد الهواء الجاف. يحدد هذا المجال من جهة أولى بالمماس للخط $\varphi = 1$ والمنشأ من النقطة 1 (الخط $1 - W_1$)، ومن جهة أخرى بتقاطع الخط $d_1 = Const$ مع الخط $\varphi = 1$ (الخط $1 - a$) .

في حالة كون درجة حرارة سطوح المبخر أخفض من حرارة نقطة الندى فإن عملية التكاثف تتم مع تشكل ما يشبه الضباب على السطوح المبردة .

أما في الحالة التي تكون فيها درجة حرارة سطح المبخر أعلى من درجة حرارة نقطة الندى عندها لا تحدث أي عملية تكاثف وبالتالي لا يتم تجفيف الهواء .

في برادات الخضار والفواكه يفضل عدم نزع الرطوبة من الهواء ، لذلك يحافظ على درجة حرارة سطح المبخر قريبة من درجة حرارة الندى للهواء .

بالنسبة لمجال عمل مبخر الهواء الرطب فيحدد بالخطين الحديين $1 - W_1$ و $1 - W_2$ المماسين للخط $\varphi = 1$.

تتحدد كمية الحرارة التي يفقدها الهواء بالتبادل الحراري والكتلي مع سطح المبخر بالعلاقة :

$$Q_o = \sigma (i_m - i_w) F - w . i_s = G_a (i_1 - i_2) \qquad (7 - 43)$$

إذ :

σ : معامل التبخر $kg/m^2.sec$ ويتحدد بالعلاقة :

$$\sigma = \alpha / C`_p \approx 4\alpha$$

$i_m=0.5(i_1+i_2)$: الأنتالبي الوسطي للهواء kJ/kg .

i_w : انتالبي الهواء المشبع الملامس لسطوح المبخر .

F : سطح التبادل الحراري m^2 .

i_s : انتالبي المياه المتكاثفة على السطوح .

G_a : كتلة الهواء المارة عبر المبخر .

$C`_p$: السعة الحرارية للهواء .

كما تتحدد كمية الحرارة التي يفقدها الهواء الجاف بالحمل بالعلاقة :

$$Q_D = \alpha (t_m - t_w) . F \qquad (7 - 44)$$

إذ :

α : معامل انتقال الحرارة مابين الهواء وسطح المبخر .

t_m : درجة الحرارة الوسطية للهواء .

t_w : درجة حرارة سطح المبرد .

تسمى نسبة Q_o إلى Q_D معامل الرطوبة المتكاثفة ξ أي :

$$\xi = Q_o / Q_D \qquad (7 - 45)$$

عندما $t_w > 0\ ^oc$ فإن :

$$\xi= 1 + 2480 (d_1 - d_2) / (t_1 - t_2) \qquad (7 - 46)$$

وعندما $t_w< 0\ ^oc$ فإن :

$$\xi= 1 + 2880 (d_1 - d_2) / (t_1 - t_2).C`_p \qquad (7 - 47)$$

عند إجراء الحسابات الحرارية للمبخرات الهوائية الجافة يجب أن تتوفر المعطيات التالية :

الحمل الحراري للمبخر Q_o ، كمية الرطوبة المتكاثفة W_o من الهواء ذي البارامترات الابتدائية t_1 , φ_1 ، درجة حرارة غليان وسيط التبريد t_o داخل الأنابيب أو درجة الحرارة الوسطية لوسيط التبريد الثانوي t_s . بمعرفة درجة حرارة الهواء عند الدخول t_1 ورطوبته النسبية φ_1 وبعد تحديد النسبة $\bar{\varepsilon} = Q_o / W_o$ يمكننا إنشاء المنحني البياني (W - 1) كما في الشكل (14 - 7) .

تؤخذ في المبخرات الهوائية الجافة درجة حرارة خروج الهواء t_2 أخفض من درجة حرارة الدخول t_1 بمقدار ($2 .. 4\ ^oC$) .

يتم تحديد موقع النقطة 2 على مخطط (i - d) من تقاطع الإيزوترم t_2 مع المنحني (i - W).

تتحدد كمية الهواء المبردة في المبخر الهوائي الجاف بالعلاقة التالية :

$$G_a = Q / (i_1 - i_2) \qquad (7 - 48)$$

يتم تحديد قيمة معامل انتقال الحرارة من جهة الهواء بإحدى العلاقتين :

$$N_u = C.C_s.C_z\left(\frac{d_{in}}{u}\right)^{-0.54}.\left(\frac{h}{u}\right)^{0.14}.R_e^m.\psi \qquad (7 - 49)$$

أو :

$$N_u = C.R_e^m\left(\frac{h}{d}\right)^n \qquad (7 - 50)$$

في العلاقتين السابقتين يتم حساب سرعة الهواء في المقطع الأضيق للحزمة إذ لا تزيد السرعة الكتلية ($w . \rho$) في المقطع على $5\ Kg / m^2.\ Sec$ وذلك لكي لا تحصل عملية جرف لقطرات الماء المتكاثفة مع الهواء.وبالتالي :

$$\alpha_{out} = \alpha_c \cdot \xi \qquad (7 - 50`)$$

من أجل حساب معامل الانتقال α_{out} الحراري ما بين الهواء والجدران الخارجية لحزمة الأنابيب يجب أخذ كمية بخار الماء المتكاثفة بالحسبان حيث يتم تحديد معامل الرطوبة بإحدى العلاقتين (7 - 47) (7 - 46).

تحسب مساحة السطح الخارجي للأنابيب F_{out} من العلاقة :

$$F_{out} = Q_o / (\alpha_{out} . \theta_w) \qquad (7 - 51)$$

$$\theta_w = 0.5 (t_1 + t_2) - t_w$$

إذ :

t_w : هي درجة الحرارة الوسطية للسطح الخارجي للمبخر.

θ_w : فرق درجات الحرارة الوسطي الحسابي على فرض أن الفرق بين درجات حرارة الدخول والخروج صغير ، أما في الحالة التي يكون

فيهـا الفـرق بـين t_2 , t_1 كبيـرا فتؤخـذ θ_W مـساوية فـرق درجـات الحرارة الوسطي اللوغارتمي.

تتحدد شدة التيار الحراري المنتقل عبر السطح الخارجي بالعلاقة :

$$q_{Fout} = \alpha_{out} \cdot \theta_W \qquad (7 - 52)$$

أو :

$$q_{Fout} = K_{Fout} \cdot \theta_t \qquad (7 - 53)$$

ومنه:

$$F_{out} = Q_o / (K_{Fout} \cdot \theta_t) \qquad (7 - 54)$$

إذ:

k_{Fout} : معامل الانتقال الحراري الكلي ما بين الهواء ووسـيط التبريـد منـسوبا إلى السطح الخارجي للأنابيب .

$\theta_t = \dfrac{t_1 - t_2}{\ell n \dfrac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}}$: فرق درجات الحرارة الوسطي اللغارتمي بين الهواء و وسـيط التبريد .

t_o : درجة حرارة غليان وسيط التبريد

يمكن حساب قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي K_{Fout} بالعلاقة التالية :

$$K_{Fout} = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_{out} . E} + R_{con} + \left(\sum \dfrac{\delta_i}{\lambda_i} + \dfrac{1}{\alpha_a} \right) . \dfrac{F_{out}}{F_{in}}} \qquad (7 - 55)$$

إذ :

E : معامل يعبر عن مستوى فعالية الريش .

R_{con} : المقاومة الحرارية ما بين قواعد الريش وجدار الانابيب $m^2 . K^o / w$

$\sum \dfrac{\delta_i}{\lambda_i}$: مقاومة التوصيل الحراري عبر جـدار الانبـوب وطبقـات الترسـبات والاوساخ والزيت .

αa : معامل الانتقال الحراري ما بين سطح النبوب الداخلي ووسيط التبريد.

تتحدد درجة فعالية الريش من منحنيات أو علاقات خاصة بمساعدة البارامتر m h .

$$m = \sqrt{\frac{2.\alpha_{out}}{\lambda.\delta}} \qquad (7 - 56)$$

إذ :

λ : معامل التوصيل الحراري لمادة الريش.

δ : سماكة الريش .

تؤخذ قيمة المقاومة التلامسية R_{con} من أجل السطوح الجافة $R_{con} = 0.01$ أما في حالة وجود طبقة متكاثفة فتؤخذ $R_{con} = 0.005$.

تتحدد قيمة معامل الانتقال الحراري α_a في حالة غليان الفريونات داخل الانابيب بالعلاقة :

$$\alpha_a = A.q^{0.6}.F_{in}(W.\rho)^{0.2}\sqrt{\frac{12}{d_{in}}} \qquad (7 - 57)$$

إذ : A –معامل تتبع قيمته لنوعية وسيط التبريد ودرجة حرارة الغليان ويؤخذ من الجدول التالي:

t_o (^oC).	A		
	R-22	R-12	R-142
10	3.95	3.05	2.48
0	3.66	2.83	2.33
-10	3.39	2.6	2.16

تحسب شدة التيار الحراري منسوبا للسطح الداخلي للأنابيب من المعادلة :

$$q_{Fin} = q_{Fout}.(F_{out} / F_{in}) \qquad (7 - 58)$$

تؤخذ قيمة السرعة الكتلية ($\rho.w$) الداخلة في العلاقة (7-57) من الجدول التالي:

Q_{Fin} (w / m^2).	ρ w	
	R-12	R-22
1000	85 – 120	80 - 100
2000	100 – 140	90 - 120
5000	120 – 180	110 - 160
10000	140 – 220	130 - 200

من أجل الأمونيا يمكن الاستفادة من العلاقة :

$$\alpha_a = 45\ q^{0.4} \qquad (7 - 59)$$

أو :

$$\alpha_a = 580\ \theta_a^{0.4} \qquad (7 - 60)$$

إذ:

$$\theta_a = t_{s,i} - t_o$$

$t_{s,i}$: درجة حرارة السطح الداخلي للأنبوب .

t_o : درجة حرارة الغليان .

عملياً عند غليان الأمونيا في أنبوب قطره d_{in} =50mm تكون

$$\alpha_a = 500..\ 800 \quad W / m^2.K$$

يتحدد طول أنابيب المبخر بالعلاقة :

$$\pi.d_{in}.L.q_{Fin} = W.\rho.\frac{\pi.d_{in}^2}{4}.r.(x_2 - x_1) \qquad (7 - 61)$$

إذ:

x_2 , x_1 :كسر الجفاف للفريون عند الدخول والخروج من المبخر ، $x<0.95$

9 - 7-بطاريات التبريد:

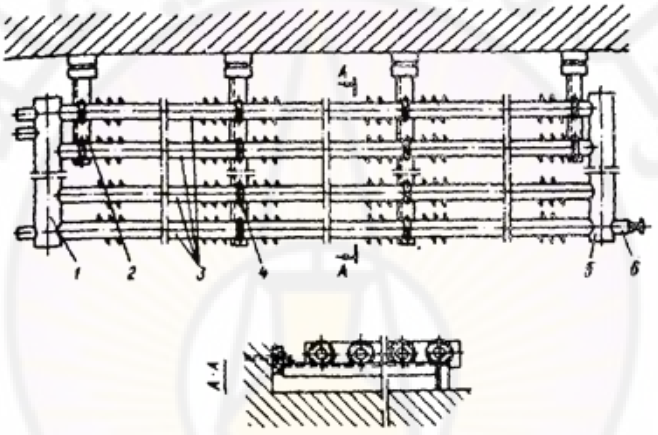
يتم غالبا تبريد غرف (مخازن) التبريد باستخدام بطاريات التبريد وهي أجهزة تبادل حراري يتبخر ضمنها وسيط التبريد أو يمر فيها وسيط تبريد ثانوي وبالتالي يتم نزع الحرارة من هواء الغرفة .

تستخدم بطاريات التبريد التي تعمل على محلول كلور الكالسيوم على نطاق ضيق في البرادات ذات السعة الصغيرة وفي الوقت الحاضر تستعمل البطاريات العاملة على الأمونيا والتي تتألف من أنابيب مريشة.

تصنع بطاريات التبريد وفق نماذج مختلفة فمنها البطاريات السقفية والجدارية كما قد تكون هذه البطاريات ملساء أومريشة. يبين الشكل(7-15) بطارية جدارية مريشة بصف واحد من الأنابيب بأبعاد ϕ 57 x 3.5 mm تعمل على الأمونيا

يبين الشكل (16 - 7) بطارية سقفية أما الشكل (17 - 7) فيبين بطارية جدارية مريشة على شكل ملف حيث يدخل سائل وسيط التبريد من الأعلى .

يتراوح طول الأبابيب في الملف من 25 وحتى 80 متراً وتقع مساحة سطح التبريد ضمن المجال m^2 (20 .. 350).



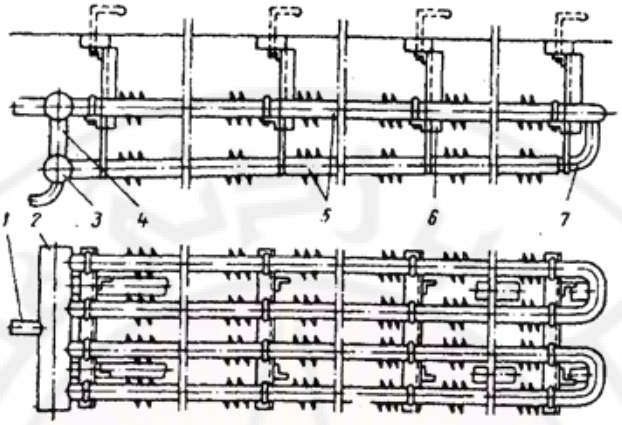
الشكل (15 - 7) بطارية جدارية تعمل على الأمونيا بصف واحد من الأنابيب المريشة

1 – مجمع .2 – وصلة تعليق .3 – أنبوب مريشة .4 – وصلة ربط 5 – مجمع 6– وصلة أنبوبية .

في الوقت الحاضر تستعمل بطارية صفائحية (مجهزة بألواح) تحتوي أنابيب بأبعاد ϕ 36 x 3 mm أو ϕ 57 x 3.5 mm كما تؤخذ سماكة الصفائح ضمن المجال (1.6 .. 2) mm.

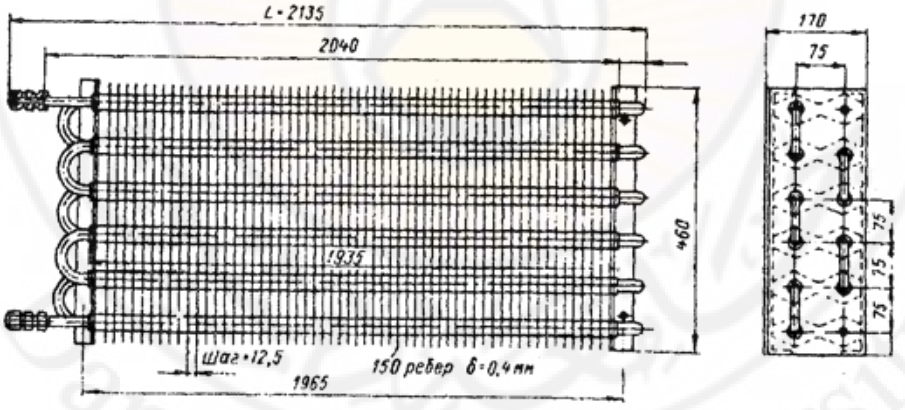
كما تصنع بطاريات تعمل على الفريون تتألف من أنابيب نحاسية بأبعاد ϕ 12 x 0.8 mm وϕ 16 x 0.8 mm حيث تتحمل البطارية ذات الأبعاد ϕ 16 x 0.8 mm ضغطاً قدره $60\ kgf/cm^2$.

تصنع هذه البطارية من أنابيب على شكل حرف U وتجهز بزعانف (صفائح مستوية) من الألمنيوم – انظر الشكل 18-7 – إذ تصل قيمة فعالية الريش حتى 18.5.



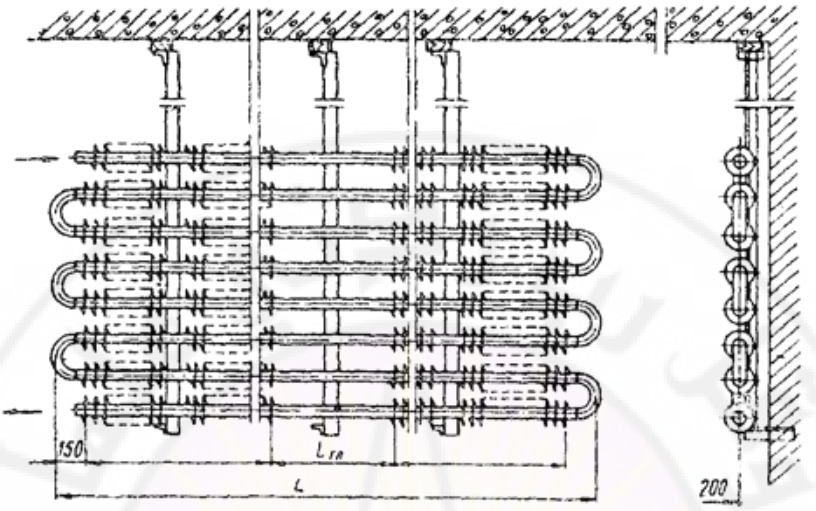
الشكل (16-7) بطارية سفقية مريشة تعمل على الأمونيا .

1- وصلة أنبوبية .2 – مجمع . 4 – مثبت . 5 – أنبوب مريش . 6 – أداة تعليق . 7 – انحناء .



الشكل (17 - 7)

بطارية جدارية بملف مريشة تعمل على الأمونيا .



الشكل (18 - 7)

بطارية جدارية مروشة تعمل على الفريون .

10 - 7 – حساب واختيار أجهزة تبريد الغرف :

من أجل تبريد الغرف تستخدم عادة البطاريات التبريدية كما يستخدم نظام التبريد الهوائي و التبريد المختلط .

يستخدم التبريد الهوائي في حالة التبريد السريع (الثلاجات) بسبب نشاط الحركة القسرية لتوزيع الهواء .

عند استعمال البطاريات السقفية في الغرف المبردة يجب أن يكون البعد بين السقف ومحور الصف العلوي من الأنابيب بحدود (400 mm .. 250) وعند استعمال البطاريات الجدارية يجب أن لا تقل المسافة بين الجدار ومحور الأنبوب الأقرب عن (200 mm .. 150)

يكمن الفرق الرئيس ما بين المبخرات الهوائية و بطاريات التبريد بأن حركة الهواء في المبخرات الهوائية تتم بشكل قسري أما حركة الهواء في حالة استخدام بطاريات التبريد بشكل طبيعي ..

يتحدد سطح التبادل الحراري للبطارية بالعلاقة التالية :

$$Q = K \cdot F_{out} \cdot \theta_t \qquad (7-62)$$

إذ يعطى معامل الانتقال الحراري الكلي منسوباً للسطح الخارجي للبطارية من العلاقة :

$$K = \frac{1}{\frac{F_{out}}{F_{in} \cdot \alpha_{in}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{out} \cdot E}} \qquad (7-63)$$

إذ :

F_{out} : مساحة السطح الخارجي للأنابيب .

F_{in} : مساحة السطح الداخلي للأنابيب .

α_{in} : معامل انتقال الحرارة ما بين السطح الداخلي للأنابيب ووسيط التبريد.

δ/λ : المقاومة الحرارية للتوصيل .

α_{out} : معامل الانتقال الحراري ما بين جدار الأنابيب الخارجي و الهواء .

E : معامل فعالية سطح الريش .

تتحدد قيمة معامل الانتقال الحراري α_{out} بالعلاقة :

$$\alpha_{out} = \alpha_{con} \cdot \xi + \alpha_R \cdot \psi \qquad (7-64)$$

إذ :

α_{con} : معامل انتقال الحرارة بالحمل .

ξ : معامل الرطوبة المتكاثفة .

α_R : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع .

تحسب قيمة α_{con} من أجل أنابيب أفقية غير مريشة من العلاقة :

$$\alpha_{con} = 1.1 \left(\frac{\theta_{out}}{d} \right)^{1/4} \qquad (7-65)$$

أما في حالة البطارية الجدارية ذات الريش فتحسب α_{con} من العلاقة :

$$\alpha_{con} = 2\ \theta_{out}^{1/4} \qquad (7-66)$$

إذ : θ_{out} الفرق مابين درجة حرارة الهواء الوسطية ودرجة حرارة سطح الأنبوب .

كما يحسب معامل الرطوبة المتكاثفة ξ من العلاقة التالية :

$$\xi = \frac{(i - i'') - (d - d'')i_w}{C'_p(t - t_w)} \qquad (7-67)$$

وأخيراً يحسب معامل الانتقال الحراري بالإشعاع بالعلاقة :

$$\alpha_r = c.\frac{\left(\frac{T_{air}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_w}{100}\right)^4}{t_{air} - t_w} \qquad (7 - 68)$$

إذ :

i : انتالبي الهواء في الغرفة المبردة .

i`` : انتالبي الهواء عند سطح البطارية .

i_W : انتالبي الرطوبة المتكاثفة .

T_W , t_W : درجة الحرارة الوسطية للسطح .

T_{air} , t_{air} : درجة حرارة الهواء .

$c = 4.8$ Kcal / (m^2.h.k^4) : من أجل السطوح المعدنية الرطبة .

$c = 4.7$ Kcal / (m^2.h.k^4) : من أجل السطوح المغطاة بطبقة متكاثفة .

$\psi = 1$: في حالة أنبوب وحيد ناعم (بدون ريش) .

مسألة 1 :

أجر الحسابات الحرارية اللازمة للمبرد الهوائي العامل على الملح إذا علمت المعطيات التالية :

الاستطاعة التبريدية : $Q_o = 70\ KW$

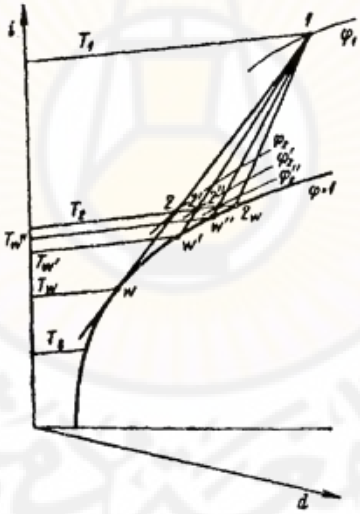
درجة حرارة الهواء في الصالة المبردة : $T_B = 255\ K^o$

درجة حرارة المحلول الملحي الوسطية في الجهاز : $T_S = 247\ K^o$

نوعية المحلول : $CaCl_2$

الحل :

يبين الشكل a إجراء تبريد الهواء في الحالة المدروسة :



الشكل a عملية تبريد الهواء في المبرد الهوائي الجاف

١- قيم مقاسات الهواء عند مدخل المبرد الهوائي :

$T_1 = T_B + \Delta T = 255 + 2 = 257\ K^o$

$\varphi_1 = 90\ \%$, $d_1 = 0.00099\ kg/kg$, $i_1 = -13.74\ KJ/kg$

٢- قيم مقاسات الهواء عند مخرج المبرد الهوائي :

$T_2 = T_B - \Delta T = 255 - 2 = 253 \quad K^o$

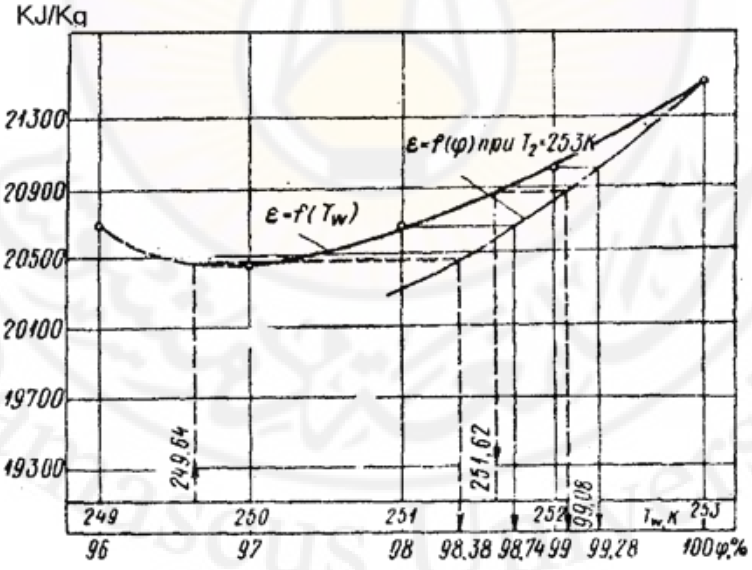
يتم تحديد الرطوبة النسبية φ_2 ومحتوى البخار d_2 والإنتالبي i_2 من خلال إجراء التبريد حتى درجة الحرارة T_2 (العملية 2-1 و $1-2_W$).

إن درجة حرارة البارد T_w تبعاً لقيمة الميل ε يمكن أن تتغير في المجال من T_W (لأجل العملية 2-1) وحتى T_2 (لأجل العملية $1-2_W$). كما يمكن أن تكون درجة حرارة السطح المبرد أخفض من T_W وفي هذه الحالة يتشكل على سطح التبريد ضباب .

المنحني المنشأ وفق العلاقة $\varepsilon=(i_1-i_w)/(d_1-d_w)$ الشكل (b) يوضح تغير قيمة ε تبعاً لدرجة حرارة سطح التبريد. نستنتج أن درجة حرارة سطح التبريد تساوي من أجل العملية (2-1) $T_W = 250$ أما في العملية $1-2_W$ فتساوي :

$T_W = T_{2W} = 253\ ^oK.$

كما يمكن من المنحني المحدد بالعلاقة $\varepsilon = \frac{i_1 - i_2}{d_1 - d_2}$ تحديد قيم φ_2 و d_2 الموافقة للقيم المختلفة لـ t_W عند $T_2 = const = 253\ ^oK$



الشكل (b) : $\varepsilon = f(T_W)$ و $\varepsilon = f(\varphi)$

مقاسات الهواء بعد المبرد الهوائي هي :

T_w , K	251	252	253
φ_2 , %	98.74	99.28	100.0
$d_2 = \varphi_2.d''_2$ kg/kg	0.0007702	0.0007744	0.0007800
$i_2 = i_{d.a} + \varphi_2.i_{w.a}$, kJ/kg	-18.30	-18.28	-18.26

- بفرض أن المبرد الهوائي مصنوع من أنابيب فولاذية مريشة بـريش دائريـة و تتوضـع الأنابيب بشكل شطرنجي .

مواصفات المبرد الأساسية :

- القطر الخارجي للأنبوب $d_{out} = 0.038$ m
- القطر الداخلي للأنبوب $d_{in} = 0.031$ m
- ارتفاع الريشة $h = 0.02$ m
- خطوة الريشة $u = 0.008$ m
- عرض الريشة $\delta = 0.001$ m
- خطوة الأنبوب بالعرض $S_1 = 0.08$ m
- خطوة الأنبوب بالعمق $S_2 = 0.08$ m

معامل التريش :

$$\beta = (F_p + F_{Mp}) / F_{in} = (0.0904 + 0.104) / 0.0972 = 10.37$$

إذ :

F_p : مساحة سطوح الريش الواقعة على متر طولي واحد .

F_{Mp} :مساحة سطح الأنبوب الغير مريش لطول 1m .

F_{in} : مساحة السطح الداخلي للأنبوب .

وتحسب هذه المساحات كما يلي :

$$F_p = 2\pi . h (h + d_{out}) (1/u)$$

$$= 2\pi \times 0.02 (0.02 + 0.038) \times (1/0.008) = 0.904 \ m^2/m$$

$$F_{Mp} = \pi.d_{out} (1 - \delta/u)$$

$= \pi \times 0.038 \, (1 - 0.001/0.008) = 0.104 \quad m^2/m$

$F_{in} \quad = \pi \, . \, d_{in} = p \times 0.031 = 0.0972 \quad m^2/m$

-لحساب معامل الانتقال الحراري من جهة الهواء منسوباً للسطح المريش للأنابيب نحسب أولاً عدد نسل من العلاقة التالية :

$$N_{um} = C.C_s.C_z\left(\frac{d_{out}}{u}\right)^{-0.54}.\left(\frac{h}{u}\right)^{-0.14}.R_{em}^{m}$$

وذلك عند :

$h/u = 0.36 \, .. \, 4.3 \quad , \quad d_{out}/u = 3 \, .. \, 8 \quad , \quad R_{em} = 500 \, .. \, 2500$

في حالتنا :

$d_{out}/u = 0.038/0.008 = 4.74 \quad , \quad h/u = 0.02/0.008 = 2.5$

عند سرعة هواء تساوي $w = 8$ m / Sec في أضيق مقطع ما بين الأنابيب يكون:

$R_{em} = w.u/\nu = 8 \times 0.008 / (12.718 \times 10^{-6}) = 5032$

إذ : $\nu = 12.718 \times 10^{-6}$ m^2 / Sec اللزوجة السنانيكية للهواء عند :

$T_B = 255^oK.$

من أجل التوضع الشطرنجي للأنابيب تأخذ الثوابت الداخلة في علاقة عدد نسل القيم التالية :

عند: $S_2 / d_{out} = 0.08 / 0.038 = 2.1$ يكون : $s = 1.04$ ، $C = 0.105$ وعلى فرض أن عدد الصفوف العريضة للأنابيب $Z \geq 4$ يكون $C_z = 1$، $m = 0.72$.

ومنه :

$N_{um} = 0.105 \times 1.04 \, (4.74)^{-0.54} \times (2.5)^{-0.14} \times (5032)^{0.72} = 19.18$

نحسب معامل انتقال الحرارة من جهة الهواء من العلاقة التالية :

$\alpha_B \quad = (N_{um} \, . \, \lambda_B) / u$

$= (19.18 \times 2.295 \times 10^{-2}) / 0.008 = 55.02 \quad W/m^2.K^o$

حيث : $\lambda_B = 2.295 \times 10^{-2}$ w / m.K معامل التوصيل الحراري للهواء عند

$T_B = 255 \, ^oK.$

- يتحدد معامل التكاثف ξ عند درجة حرارة السطح $T_W < 273 \, ^oK$ من العلاقة :

$$\xi = 1 + 2880\frac{d_1 - d_2}{T_1 - T_2}$$

ومنه يمكن ترتيب الجدول التالي لقيم ξ الموافقة لعدة قيم لدرجة حرارة السطح :

T_w, k	251	252	253
ξ	1.158	1.155	1.150

– تتحدد قيمة معامل الانتقال الحراري الشرطي من جهة الهواء الرطب مع الأخذ بالحسبان التبادل الحراري الكتلي والمقاومة الحرارية للثلج المتراكم على السطح ومقاومة تماس الريش مع سطح الأنبوب ، بالمعادلة التالية :

$$\alpha'_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\beta \cdot \xi} + \frac{\delta_{sn}}{\lambda_{sn}} + R_T}$$

إذ تعتمد قيمة النسبة $\frac{\delta_{sn}}{\lambda_{sn}}$ على القيمة المسموحه لسماكة طبقة الثلج $\delta \le b / 2$

(δ المسافة ما بين ريشتين متتاليتين) كما تعتمد على كثافة الثلج ρ_{sn}.

عند $\rho_{sn} = 10 .. 90 Kg/m^2$ تكون $\lambda_{sn} = 0.1165 .. 2.32$ w / m.^oK.

تعتمد مقاومة التماس بين الريش والأنبوب على معامل التربيش β وعلى طريقة التماس أو التركيب وفي مثالنا هذا نأخذ :

$R_T = 4.5 \times 10^{-3}$ ($m^2.K^o$ / w) , $\lambda_{sn} = 0.75$ (w / m.K^o) , $\delta_{sn} = 0.004$ m

بما أن قيمة معامل الرطوبة ξ لا تتغير كثيراً في المجال الحراري 253 .. 250 ^oK لذا يمكن حساب معامل الانتقال الحراري الشرطي عند $\xi = 1.155$ كما يلي :

$$\alpha'_i = \frac{1}{\frac{1}{55.02 \times 1.155} + \frac{0.004}{0.75} + 4.5 \times 10^{-3}} = 39.1 \quad (w / m^2)$$

تتحدد فعالية الريشة بالعلاقة :

$$E = \frac{th.(m.h')}{m.h'}$$

إذ تحسب m بالعلاقة :

$$m = \sqrt{\frac{2.\alpha'_j}{\lambda_p.\delta_p}} = \sqrt{\frac{2\times 39.1}{45.4\times 0.001}} = 41.5\left(\frac{1}{m}\right)$$

$\lambda_p = 45.4$ w / m.^oK معامل التوصيل الحراري للفولاذ .

يتحدد ارتفاع الريشة الدائرية الشرطي من العلاقة :

$$h' = h.\left(1 + 0.35.\ln\frac{R}{r_o}\right)$$

$$h' = 0.02.\left(1 + 0.35\times \ln\frac{0.039}{0.019}\right) = 0.025 \quad m$$

إذ :

ro = 0.019 m : نصف القطر الخارجي للأنبوب .

R = 0.039 m : نصف قطر الريشة الدائرية .

ومنه :

m.h` = 41.5 x 0.025 = 1.0375

th (m.h`) = 0.771

E = 0.771 / 1.0375 = 0.743

- معامل انتقال الحرارة الفعلي منسوباً إلى سطح الأنبوب الداخلي :

$$\alpha_j = \alpha'_j.\left(\frac{F_p}{F_{in}}.E + \frac{F_{MP}}{F_{in}}\right)$$

$$= 39.1\left(\frac{0.904}{0.0972}\times 0.743 + \frac{0.1044}{0.0972}\right) = 312 \quad w/m^2$$

- كمية الهواء المارة عبر المبرد عند $T_W = 251\ ^oK$:

$$G_B = Q_o / (i_1 - i_2) = 15.38 \quad Kg / Sec$$

- حجم الهواء المار عبر المبرد :

$$V_B = G_B \times v_1$$

إذ : $v_1 = R . T_1 / P_1$

ومنه :

$$v_1 = (293 \times 257) / (9.81 \times 10^4) = 0.767$$

$$V_B = 15.38 \times 0.767 = 11.8 \quad m^3 / Sec$$

- مساحة المقطع العرضي الحر ما بين الأنابيب عند سرعة الهواء 8 m / Sec .

$$F_a = V_\beta / w = 11.8 / 8 = 1.475 \quad m^2$$

- سطح التبادل الحراري الداخلي للأنابيب و لمجموعة واحدة :

$$f_{in} = F_a \frac{\pi . d_{in}}{S_1 - \left(d_{out} + 2 \frac{\delta h}{u} \right)}$$

بتعويض قيم الحدود الداخلة في العلاقة نحصل على :

$$f_{in} = 3.82 \quad m^2$$

- بمساواة كمية التدفق الحراري من جهة الهواء مع كمية الحرارة المتدفقة عبر سطح الأنبوب الداخلي نحصل على :

$$q_{Fin} = \alpha_J (T_B - T_w)$$

$$q_{Fin} = 312 (255 - 251) = 1248 \quad w / m^2$$

ومنه نحسب مساحة سطح التبادل الحراري الداخلي للأنابيب :

$$F_{in} = Q_o / q_{Fin} = (70 \times 1000) / 1248 = 56.08 \quad m^2$$

عدد مجموعات الأنابيب :

$$Z = F_{in} / f_{in} = 56.08 / 3.82 = 15$$

طول الأنابيب الإجمالي في المجموعة الواحدة :

$$L = \frac{F_a}{S_1 - \left(d_{out} + 2 \frac{\delta . h}{u} \right)}$$

$$= \frac{1.475}{0.08 - \left(0.038 + 2 \frac{0.001 \times 0.02}{0.008} \right)} = 39.86 \quad m$$

نحسب عدد صفوف الأنابيب في المجموعة على أساس أن يتحقق ارتفاع الجهاز H وطولـه ℓ بالعلاقتين التاليتين :

$$\ell / H = K \quad , \quad K = 2$$

$$m = \sqrt{\frac{L}{S_1 . K}} = \sqrt{\frac{39.86}{0.08 \times 2}} \approx 16$$

ومنه يكون طول الأنبوب الواحد :

$$\ell = L / m = 39.86 / 16 = 2.49$$

- مقدار تدفق المحلول الملحي m^3 / Sec حيث يساوي حجم المحلول النوعي يساوي: $v_S = 0.0008\ m^3 / kg$ عند $T_S = 247^oK$ $247\ ^oK$ كما أن السعة الحرارية للمحلول الملحي عند $T_S = 247\ ^oK$ تساوي إلى :

$$Cp_s = 2.745\ J/kg.deg$$

نفرض أيضاً أن : $\Delta T_S = 4\ ^oK$ (فرق درجة حرارة المحلول).

ومنه :

$$V_s = \frac{Q_o . v_s}{C_{ps} . \Delta T_s} = \frac{70000 \times 0.0008}{2.745 \times 4 \times 1000} = 0.0051 \quad m^3 / Sec$$

- سرعة جريان محلول الملح :

$$w_s = \frac{4 . V_s}{Z . \pi . d_{in}^2} = \frac{4 \times 0.0051}{15 \times \pi \times (0.031)^2} = 0.45 \quad m / Sec$$

- عدد رينولدز لجريان المحلول :

$$R_{em} = w_S . d_{in} / \nu = (0.45 \times 0.031) / (13.6 \times 10^{-6}) = 1025.7$$

إذ : $T_S = 247\ ^oK$, $\nu = 13.6 \times 10^{-6}\ m^2 / Sec$

يحسب عدد نسل للجريان الصفائحي $Rem < 2300$ من العلاقة التالية :

$$N_{um} = 1.54 \left(\frac{R_{em} . P_{rm}}{\ell / d_{in}} \right)^{1/3} \times \left[\left(1 + 0.01 \left(\frac{R_{em}}{\ell / d_{in}} \right)^{2/3} \right) \right]$$

إذ يساوي عدد براندل في حالتنا: $P_{rm} = 95.5$

$$N_{um} = 1.54 \times \left(\frac{1025.7 \times 95.5}{2.49 / 0.031}\right)^{1/3} \times \left[\left(1 + 0.01\left(\frac{1025.7}{2.49 / 0.031}\right)^{2/3}\right)\right] = 17.35$$

- معامل الانتقال الحراري من جهة المحلول الملحي :

$\alpha_S = (N_{um} . \lambda_S) / d_{in} = (17.35 \times 0.493) / 0.031 = 275.9 \quad W/m^2.k$

إذ : $\lambda_S = 0.493$ W / m.K عند $T_S = 247\ ^oK$

- عامل الانتقال الحراري الشرطي من جهة المحلول:

$$\alpha'_s = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1}{275} + 0.5 \times 10^{-3}} = 242.47 \qquad W / m^2.K^o$$

إذ : $\sum \delta_i/\lambda_i = 0.5 \times 10^{-3}$ w/mk المقاومة الحرارية للجدار من جهة المحلول.

- درجة الحرارة الحسابية للمحلول الملحي :

$T_S = T_W - q_{Fin}/\alpha`_S = 251 - 1248 / 242.47 = 245.85\ ^oK$

عند إجراء تسلسل الحسابات السابقة نفسها مع التعويض بقيم جديدة لـــ T_W نحصل على قيم أخرى لـــ T_S إذ ينتج :

عند $T_W = 252$ تكون : $T_S = 247.67\ ^oK$

عند $T_W = 253$ تكون : $T_S = 249.73\ ^oK$

يبين الشكل (C) التمثيل البياني لكل من العلاقتين :

$F_{in} = \Psi(T_W)$ ، $T_s = f(T_w)$.

$T_W =$ (b) ومن الشكل (c) نجد $T_W = 251.62\ ^oK$ كما نجد مـــن الـــشكل

$251.62\ ^oK$ تكون الرطوبة النسبية للهواء عند مخرج المبرد $\varphi_2 = 99.08\ \%$

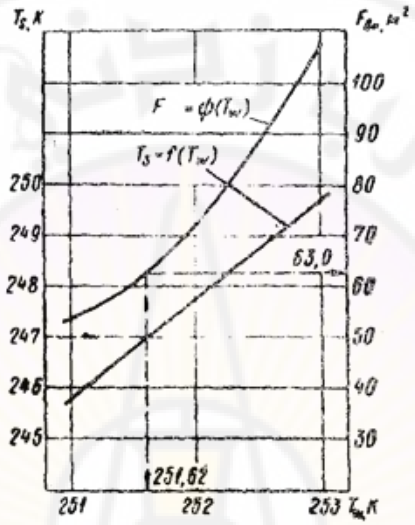
ومنه عندما $T_2 = 253\ ^oK$ يكون :

$d_2 = \varphi_2 . d'' = 0.9908 \times 0.00078 = 0.000773 \quad kg/kg$

$i_2 = i_{d.a} + i_{w.a} \cdot \varphi_2$

$= -20.19 + 0.9908 \times 1.92 = -18.28$ kJ/kg

- كمية الهواء المارة عبر المبرد :



الشكل (C) : المنحنيات $F_{in} = \psi(T_w)$ ، $T_s = f(T_w)$

$G_B = Q_o / (i_1 - i_2) = 70 / (-13.73 + 18.28) = 15.42$ kg / Sec

$V_B = 15.42 \times 0.767 = 11.83$ m^3/Sec

- مساحة المقطع الحر في المبرد :

$F_a = V_B / w = 11.83 / 8 = 1.478$ m^2

- كمية البخار المتكاثفة على أنابيب المبرد :

$W_o = G_B (d_1 - d_2)$

$W_o = 15.42 (0.00099 - 0.000773) = 0.00332$ kg / Sec

مسألة 2 :

أجر الحسابات الحرارية اللازمة للمبرد الهوائي الجاف العامل على الفريـون R-22 إذا علمت المعطيات نفسها الواردة في المسألة السابقة ودرجة حرارة غليان وسـيط التبريـد تساوي: $T_o = 247\ ^oK$

الحل :

- إن قيمة معامل الانتقال الحراري والتدفق الحراري النوعي من جهة الهواء تبقى كما هـي في المثال الأول .

- معامل انتقال الحرارة من جهة الفريون :

$$\alpha_A = \frac{q_{aFin}^{0.6} \cdot G_a^{0.2}}{d_{in}^{0.6}} . A$$

إذ ($A = 1.04$) عامل يتعلق بالخواص الفيزيائية لوسيط التبريد ودرجة حرارة الغليان .

تدفق الفريون :

$$G_a = Q_o (i_{out} - i_{in}) = 70 / (616 - 444) = 0.407 \quad kg / Sec$$

إذ :

$i_{out} = 616$ KJ/kg : انتالبي البخار المحمص للفريـون عنـد درجـة حـرارة الخروج $T_{out} = T_o + 5$ أي : $T_{out} = 252$

$i_{in} = 444$ KJ/kg : انتالبي البخار الرطب عند مدخل المبخر بفـرض أن درجـة حرارة التكاثف في دورة التبريد تساوي $T_c = 293\ ^oK$

ومنه :

$$\alpha_a = q_{aFin}^{0.6} \times \frac{(0.407)^{0.2} \times 1.04}{0.031^{0.6}}$$

$$= 6.98 \times q_{aFin}^{0.6}$$

- تساوي قيمة الدفق الحراري النوعي من جهة وسيط التبريد:

$$q_{aFin} = \alpha_a \cdot \Delta t_a$$

إذ :

$$\Delta T_a = T_w - T_o$$

ومنه :

$$q_{aFin} = 6.98 \times q_{aFin}^{0.6} . \Delta T_a$$

أو :

$$q_{aFin}^{0.4} = 6.98 \times \Delta T_a$$
$$q_{aFin} = 128.7 \times \Delta T_a^{2.5}$$

بإعطاء عدة قيم للمقدار Δt_a نحسب q_{aFin} الموافقة من العلاقة (1) إذ نرتب النتائج في الجدول التالي :

ΔT_a	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
$\Delta T_a^{2.5}$	0.177	1.00	2.76	5.66	9.88	15.59	22.9
q_{aFin}	22.8	128.7	355	728.4	1271.5	2006.4	2947

- فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغاريتمي :

$$\theta_t = \frac{T_1 - T_2}{\ell n \frac{T_1 - T_o}{T_2 - T_o}} = \frac{257 - 253}{\ell n \frac{257 - 247}{253 - 247}} = 7.83 \quad {}^oC$$

لحساب التدفق الحراري النوعي q_{Fin} نرسم الخطوط البيانية المبينة في الشكل (a) ومنه نجد:

$$T_w = 249.6 \ {}^oK \quad , \quad q_{Fin} = 1660 \ w / m^2$$

- نستنتج حالة الهواء عند مخرج المبرد من الشكل (a) في المسألة السابقة حيث نجد :

$$\varphi_2 = 98.38 \ \% \quad , \quad T_2 = 253 \ {}^oK$$

ومنه :

$$d_2 = \varphi_2 . d''$$

$d_2 = 0.9838 \times 0.00078 = 0.000767$ kg / kg

$i_2 = i_{da} + \varphi_2 \cdot i_{wa} = -20.19 + 0.9838 \times 1.92 = -18.3$ KJ/kg

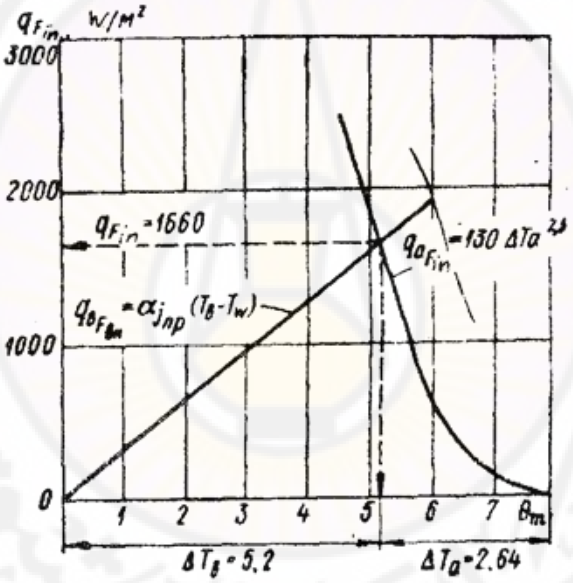
- كمية الهواء المارة عبر المبرد :

$G_B = Q_o / (i_1 - i_2) = 70 / (-13.7 + 18.3) = 15.22$ kg/Sec

$V_B = 0.767 \times 15.22 = 11.67$ m^3/Sec

- مساحة المقطع الحر في المبرد :

$F_a = 11.67 / 8 = 1.46$ m^2



الشكل (a) $q_{Fin} = f(\theta_m)$

- سطح التبادل الحراري لمجموعة واحدة :

$$f_{in} = 1.46 \times \frac{\pi \times 0.031}{0.08 - \left(0.038 + 2 \times \frac{0.001 \times 0.02}{0.008} \right)} = 3.84 \quad m^2$$

- سطح التبادل الحراري الكلي :

$$F_{in} = Q_o / q_{Fin} = 70.000 / 1660 = 42.17 \ m^2$$

- عدد مجموعات الأنابيب :

$$Z = F_{in} / f_{in} = 42.17 / 3.48 = 11$$

- طول الأنبوب الإجمالي في المجموعة الواحدة :

$$L = \frac{F_a}{S_1 - \left(d_{out} + \frac{2\delta . h}{u} \right)} = \frac{1.46}{0.08 - \left(0.038 + \frac{2 \times 0.001 \times 0.02}{0.008} \right)}$$

$$L = 39.5 \ m$$

- عدد صفوف الأنابيب :

$$m = \sqrt{\frac{L}{S_1 . K}} = \sqrt{\frac{39.5}{0.08 \times 2}} \approx 16$$

إذ : $K = \ell / H = 2$ -K- نسبة طول المبرد إلى ارتفاعه .

- طول الأنبوب الواحد :

$$\ell = L / m = 39.5 / 16 = 2.47 \ m$$

- ارتفاع المبرد :

$$H = m . S_1 = 16 \times 0.08 = 1.28 \ m$$

- عرض الجهاز (العمق) :

$$L_t = Z . S_2 = 11 \times 0.08 = 0.88 \ m$$

- كمية البخار المتكاثف :

$$W_o = G_B (d_1 - d_2) = 15.22 (0.00099 - 0.000766)$$
$$= 0.00341 \ kg / Sec$$

الفصل الثامن

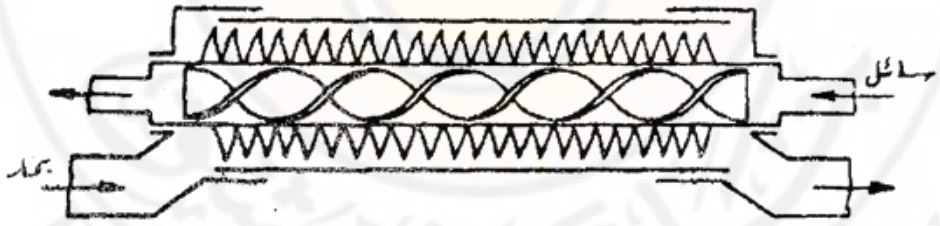
الأجهزة المساعدة

تضم الأجهزة المساعدة كلاً من المبادلات الحرارية وأوعية المزج ومجمعات الزيت وفواصل الزيت ومجمعات سائل وسيط التبريد وفواصل السوائل وأخيراً المرشحات.

8 -1 – المبادلات الحرارية:

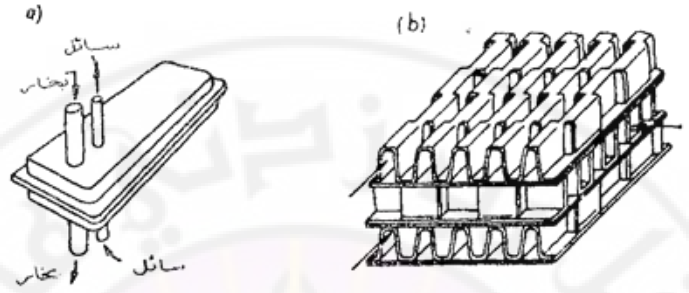
مهمة المبادل الحراري هي زيادة تبريد سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف على حساب تحميص البخار المشبع الجاف الخارج من المبخر .

يتألف المبادل الحراري عادةً من وعاء أسطواني من الفولاذ مجهز بغطاءين طرفيين يوجد داخله ملف (وشيعة) يجري ضمنه سائل الفريون المراد تبريده بينما يجري في الفراغ الكائن خارج الملف بخار وسيط التبريد . لزيادة فعالية التبادل الحراري ما بين السوائل والبخار يعمد عادة إلى تصنيع أنابيب الملف من النحاس وتجهز بزعانف (ريش) من الخارج لزيادة سطح التبادل الحراري من جهة البخار. (أنظر الشكل 1-8).



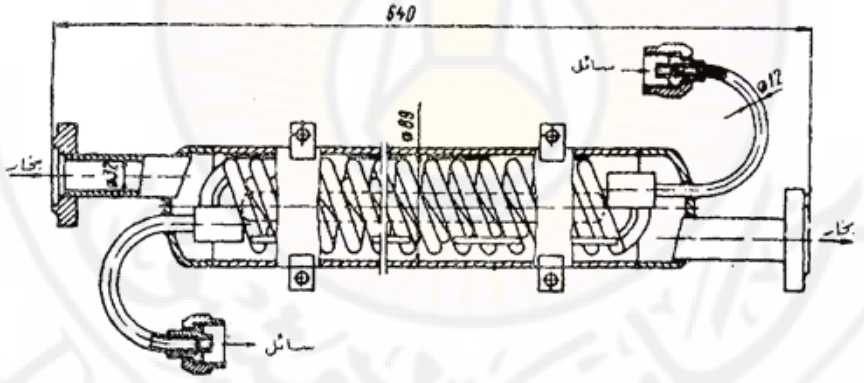
الشكل (1 - 8) مبادل حراري نموذجي (أنبوب داخل أنبوب)

يوجد عدة أنواع للمبادلات الحرارية فمنها صندوقية بملف ومنها يكون على شكل أنبوبة طويلة ملحوم عليها أنبوب شعري (Copilor) كما هو في حالة البرادات المنزلية ويوجد نوع آخر للمبادلات الحرارية هو المبادل الحراري الصفائحي، انظر الشكلين (8-2,b) و (8-2,a) .



الشكل (2 - 8) مبادل حراري صفائحي

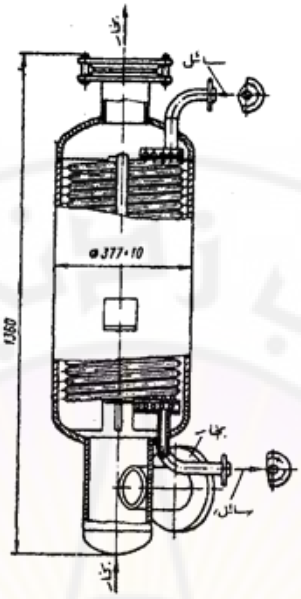
يبين كل من الشكلين (4 - 8) و(3 - 8) نموذج لمبادل حراري من نوع الملف داخل وعاء أسطواني .



الشكل (3 - 8)

في آلات التبريد العاملة على الأمونيا يتم التقليل من الضياعات اللاعكوسة الناتجة عن الخنق بوضع مبرد بين المكثف وصمام الخنق .

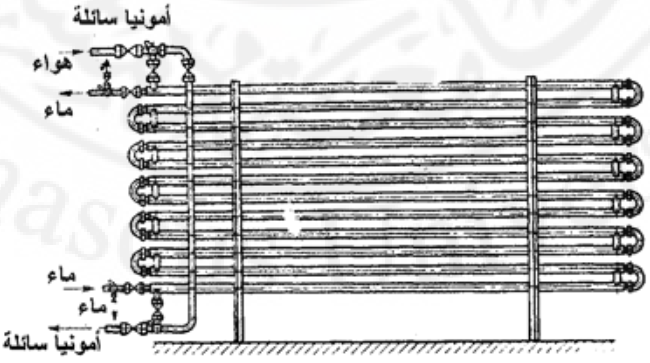
يبين الشكل (5 - 8) مبرداً مزدوج الأنابيب ومتعاكساً ، وهو يتألف من مقطع واحد أو مقطعين.



الشكل (4 - 8)

تشمل المقاطع أنابيب مزدوجة (أنبوباً ضمن أنبوب) .

يتدفق سائل وسيط التبريد في الفراغ الكائن بين الأنابيب وبشكل معاكس لاتجاه حركة مياه التبريد المتدفقة في الأنابيب الداخلية . درجة حرارة سائل وسيط التبريد الخارج من المبرد تكون أعلى بمعدل (^{o}C 3 .. 2) من درجة حرارة المياه القادمة .



الشكل (5 - 8) مبرد متعاكس الاتجاه

2 - 8 – الأوعية البينية :

تستعمل في آلات التبريد الثنائية أو ثلاثية المراحل عندما تعمل على الأمونيا لتحقيق تبريد إضافي للبخار الخارج من ضاغط المرحلة الأولى قبل دخوله إلى ضاغط المرحلة الثانية ، أيضاً يستفاد من الوعاء البيني في عملية تبريد سائل وسيط التبريد المتجه إلى المبخر.

وجدت الأوعية البينية أهمية اقتصادية عند استعمالها في الدورات الترموديناميكية ذات درجات حرارة الغليان المنخفضة من حيث إنها تخفف من الضياعات الممكن حدوثها في صمام التمدد .

الوعاء البيني هو وعاء أسطواني شاقولي يوجد في الجزء السفلي منه ملف (أنبوب حلزوني) ويستند الوعاء على قاعدة .

كما يوجد في أسفل الوعاء مجمع خاص لتجميع الزيت القادم مع البخار ومن ثم يفرغ.

يتم المحافظة على ثبات مستوى سائل الأمونيا ضمن الوعاء باستخدام صمام تمدد يدوي أو معير أوتوماتيكي كما يتم تجهيز الوعاء بمقياس ضغط وصمام أمان وقائي يسمح بخروج البخار في حالة زيادة الضغط .

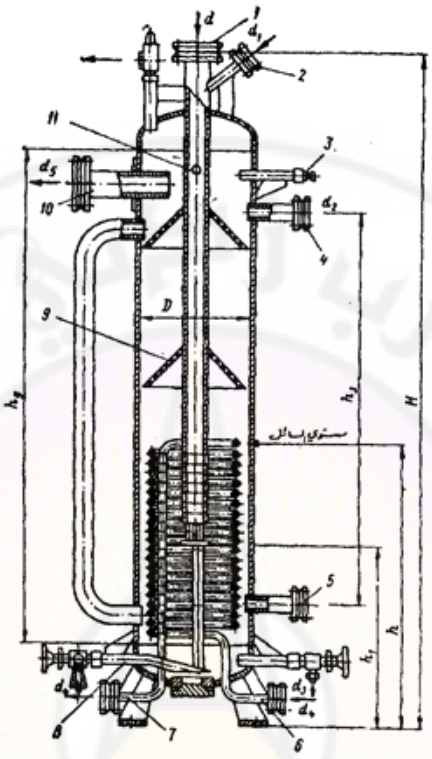
يبين الشكل (6 - 8) نموذجاً للوعاء البيني .

أثناء شروط العمل الطبيعية يملأ الوعاء البيني بسائل وسيط التبريد ذي درجة الحرارة الموافقة للضغط البيني عبر المدخل (2) . يتم الحفاظ على مستوى السائل عند علامة محددة باستخدام صمام يدوي أو آلي .

يدخل البخار المحمص من ضاغط المرحلة الدنيا عبر المدخل (1) وبتغلغله عبر طبقة السائل ذات السماكة (500 mm .. 200) يتم تبريده على حساب تبخر السائل وتهبط بذلك درجة

حرارته حتى درجة الحرارة الموافقة للضغط البيني . وبعد ذلك يتم صعود البخار المبرد ماراً عبر الفواصل الشبكية ليتخلص من السائل ويذهب عبر فوهة جانبية (١٠) إلى ضاغط المرحلة العليا .

يقوم الملف الموجود في الوعاء البيني بتبريد وسيط التبريد القادم من المكثف .



الشكل (6 - 8) الوعاء البيني

١-مدخل بخار الأمونيا من الضاغط ذي الضغط المنخفض .

٢-مدخل سائل الأمونيا . ٣-مقياس الضغط .

٤،٥-خطوط سوية البخار والسائل .

٦،٧-دخول وخروج سائل الأمونيا .

٨-خروج الزيت . ٩-فاصل سائل شبكي .

١٠-خروج البخار . ١١-فتحة توازن .

١٢- خروج الأمونيا السائلة.

3 - 8 - فاصل الزيت :

عند عمل الآلات على وسائط التبريد التي يكون انحلال الزيت فيها قليلاً فـإن هـذا الزيت ينقل من الضاغط إلى عناصر المجموعة ويترسب على جدران أنابيب التبادل الحراري

للأجهزة ويسي، إلى عمل الأخيرة . من أجل إبعاد الزيت من النظام العامل على مثل وسائط التبريد هذه (مثلاً R717) تستخدم فواصل الزيت ومجمعات الزيت .

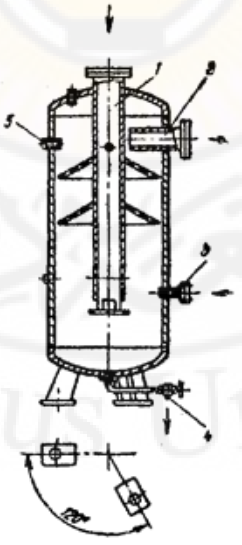
وظيفة هذا الجهاز كما يستدل عليها من تسميته هي فصل قطرات الزيت العالقة ببخار الأمونيا القادم من أسطوانات الضاغط .

يتم فصل جزيئات الزيت بتدوير أو فتل البخار عبر طبقة من سائل الأمونيا.

يتألف فاصل الزيت من وعاء أسطواني شاقولي يدخل البخار إليه من الأعلى عبر أنبوب 1 تنخفض نهايته نحو (150 .. 200 mm) عن مستوى سائل الأمونيا، ويخرج البخار من الفتحة 2.

يتم دخول سائل الأمونيا إلى داخل الجهاز عبر الأنبوب (3) كما يتم في داخل الجهاز فصل الزيت بشكل جيد بوساطة أقماع شبكية .

وأخيراً يتم تفريغ الزيت وسحبه إلى مجمع خاص من طريق الصمام (4) كما في الشكل (7 - 8) . وفقاً لقواعد الأمن الصناعي يطرح الزيت فقط عند ضغط السحب. وهذا ضروري أيضاً لتقليل فقد الأمونيا مع الزيت. يركب فاصل الزيت على خط الدفع بين الضاغط والمكثف ويفضل أن يكون أقرب إلى المكثف لتأمين تبريد قليل للبخار قبل فصل الزيت. يركب في الفتحة 5 مقياس ضغط.

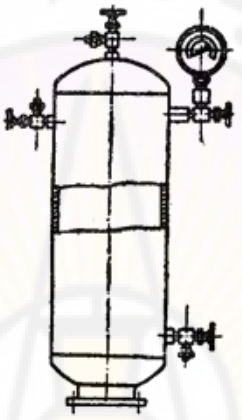


الشكل (7 - 8) فاصل الزيت

4 - 8 – مجمع الزيت:

هو وعاء أسطواني شاقولي لتخزين الزيت القادم من فاصل الزيت يتم تفريغه دورياً بشكل آلي ، يجهز هذا المجمع بمقياس ضغط .

يبين الشكل (8 - 8) نموذج هذا المجمع . يركب مجمع الزيت من جهة السحب.



الشكل (8 - 8) مجمع الزيت

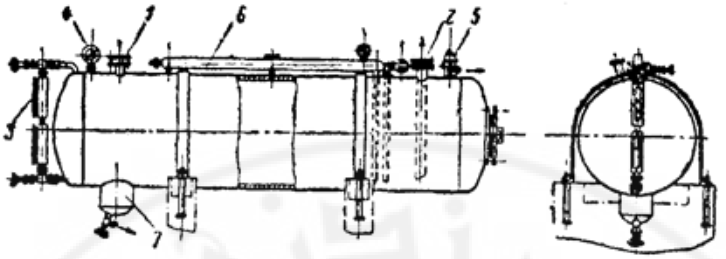
5 - 8 – خزانات تجميع وسيط التبريد :

تقسم خزانات تجميع وسيط التبريد إلى أربعة أنواع أو زمر رئيسة :

خطية – توزيعية – تجميعية – وقائية .

الخزان الخطي :

وهو موضح على شكل (9 - 8)، مهمته تفريغ المكثف من سائل وسيط التبريد وتأمين عملية تنظيم دخول سائل وسيط التبريد إلى صمامات التمدد . ويوضع من جهة الضغط العالي تحت المكثف، ويوصل مع الأخير بأنبوبة تغذية وأنبوبة سوية.



الشكل (9 - 8) الخزان الخطي

1 , 2 – مجرى دخول وخروج الأمونيا . 3 – دليلة المنسوب .

4 – مقياس الضغط . 5 – صمام أمان . 6 – فاصل هوائي . 7 – مجمع زيت .

الخزان التوزيعي :

يستخدم هذا الخزان في دارات التبريد التي تحتوي مرحلتي انضغاط على الأقل.

يستقبل هذا الخزان البخار المشبع القادم من المبخر حيث يذهب إلى ضاغط المرحلة الأولى، كما يستقبل سائل وسيط التبريد القادم من الخزان الخطي قبل ذهابه إلى المبخر.

مهمة هذا الخزان تنظيم توزيع البخار والسائل باستخدام صمامات كهربائية، يركب على الخزان مرشح ومنظم وفواشة منسوب كهربائية .

الخزان التجميعي :

مهمة هذا الخزان استقبال سائل وسيط التبريد الموجود ضمن المبخر وذلك عندما يراد إذابة الثلج المتراكم على المبخر من الخارج (ديفروست) .

تتم هذه العملية آلياً حيث يتم تحويل البخار الساخن من الضاغط إلى المبخر.

يتم أيضاً عزل الخزان بعازل حراري لمنع تسرب الحرارة .

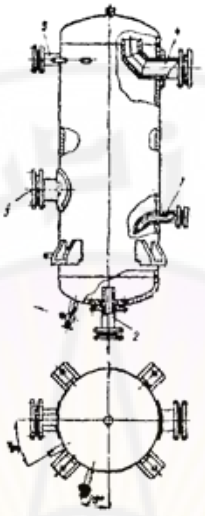
6 - 8 – فواصل السوائل:

مهمة هذه الأجهزة فصل قطرات السائل العالقة ببخار وسيط التبريد القادم من المبخرات.

يتم فصل جزيئات السائل بالتغيير المفاجئ للسرعة وجهة حركة بخار وسيط التبريد.

يبين الشكل (10 - 8) فاصلاً سائلاً شاقولياً يحتوي فتحتين (1 و 2) لأجل دخول وخروج سائل وسيط التبريد والفتحتين (3 و 4) من أجل دخول وخروج البخار .

في بعض الأجهزة يوجد ملف صغير لتسخين قطرات الزيت المتساقطة .



الشكل (10 - 8) فاصل السائل

7 - 8 – مبردات الهواء :

نظراً لوجود غازات غير متكاثفة في نظام التبريد فإن الفعالية الطاقية لآلة التبريد تنخفض لأن قيمة معاملات النقل الحراري في الأجهزة تنخفض ويرتفع ضغط التكاثف ويزداد مصروف الطاقة لانضغاط بخار وسيط التبريد في الضاغط .

لإبعاد الهواء الموجود في النظام يوضع مبرد هواء .

الشكل (11 - 8) يبين مبرد هواء ، ويتألف من أربعة أنابيب متحدة (من قطعة واحدة) من الفولاذ متوضعة الواحد ضمن الآخر مع فراغات بينها .

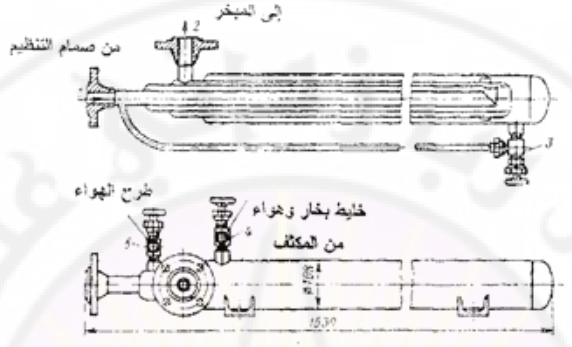
إن مبدأ عمل الجهاز يكون كالتالي :

يدخل سائل وسيط التبريد بعد صمام الخنق عبر المدخل (1)إلى الأنبوب الداخلي وبعد ذلك يذهب إلى الفراغ الكائن بين الأنبوب الأول و الثالث ومن ثم يخرج عبر المخرج (2إلى المبخر . مزيج الهواء ووسيط التبريد يدخل عبر الفتحة (4)إلى الفراغ بين الأنبوب الخارجي و الأنبوب الذي يليه ويبرد بسائل وسيط التبريد .

بنتيجة التبريد يتكاثف وسيط التبريد من مزيج البخار و الهواء ويطرح الهواء عبر الفوهة (5)إلى وعاء زجاجي مملوء بالماء .

يمرر وسيط التبريد المتكاثف عبر الصمام (3)إلى الأنبوب الداخلي لمبرد الهواء .

بنتيجة التبريد المكثف لمزيج البخار والهواء فإن ضياع وسيط التبريد عند إبعاد الهواء من النظام في مبرد الهواء المذكور أعلاه يكون قليلاً .



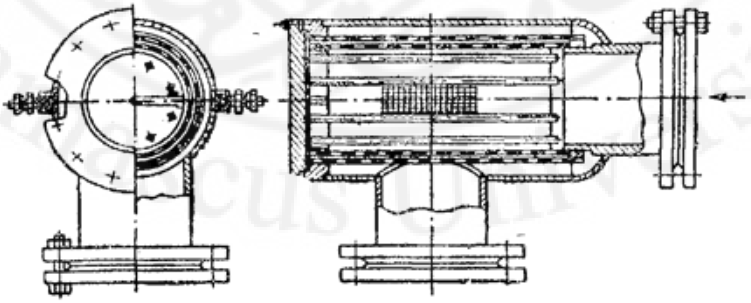
الشكل (11 - 8) مبرد الهواء

8 - 8 – مصائد الأوساخ و الترسبات :

مهمة هذا الجهاز هي حماية أسطوانات الضواغط الكبيرة من دخول أي أوساخ أو ترسبات إليها .

كما يبين الشكل (12 - 8) تتألف المصيدة من هيكل أسطواني مجهز بأنابيب دخول وخروج تشكل فيما بينهما زاوية 90 درجة .

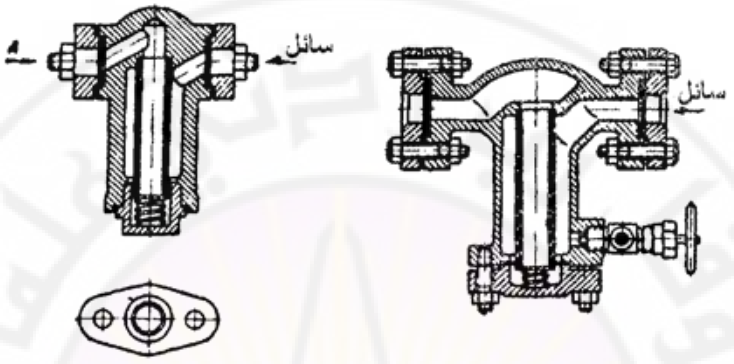
يوجد في الداخل شبك معدني متين بشكل أسطوانة يلتف حوله طبقتين من شبك كتاني ناعم ورقيق.



الشكل (12 - 8) مصيدة أوساخ

9 - 8 – المرشحات (الفلاتر) :

تستخدم المرشحات لحماية أجهزة التحكم الآلية من الأوساخ و الترسبات الميكانيكيـــة العالقة بسائل وسيط التبريد قبل دخوله إلى الأجهزة العاملة .



الشكل (13 - 8) المرشح

يوجد في داخل الهيكل شبك فولاذي دقيق، يحافظ على بقائه بوضع شاقولي ويضغط من الأسفل بنابض يرتكز على الغطاء (13 - 8).


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل التاسع

آلات التبريد الهوائية والغازية

9 -1 – آلات التبريد الهوائية:

يمكن عدّ آلات التبريد الهوائية من فئة آلات التبريد الضاغطة لأن الضاغط في هذا النوع من آلات التبريد يشكل جزءاً رئيساً من دارتها. استعملت آلات التبريد الهوائية قديماً قبل انتشار آلات التبريد البخارية العاملة على الأمونيا وبالرغم من المميزات العديدة التي تتمتع بها آلات التبريد الهوائية فقد حلت آلات التبريد البخارية محلها بسبب ارتفاع قيمة معامل التبريد في آلات التبريد البخارية .

تتلخص أهم عيوب آلات التبريد الهوائية في النقاط التالية :

١ – إنها ذات معامل أداء تبريدي منخفض .

٢ – صعوبة بنائها وتجهيزها وبخاصة فيما يتعلق بالضاغط التوربيني .

٣ – الإنتاجية التبريدية النوعية q_o صغيرة وذلك بسبب كون الحرارة النوعية للهواء منخفضة وبالتالي فإنه للحصول على إنتاجية تبريدية معينة يتطلب ذلك تدوير كمية كبيرة من الهواء .

٤ – صغر قيمة معامل التوصيل الحراري للهواء بالمقارنة مع السوائل .

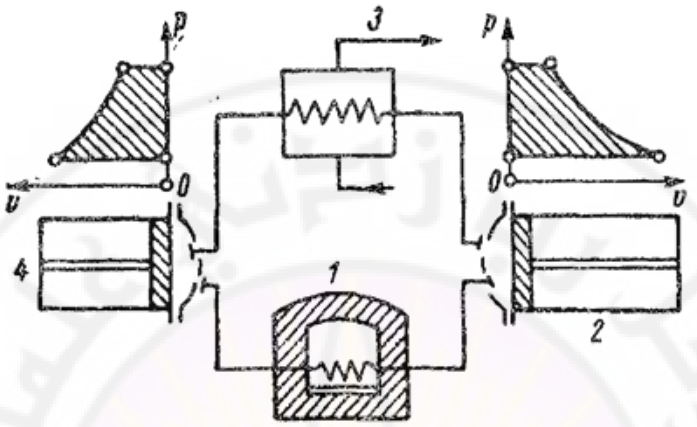
بنتيجة تطور الضواغط التوربينية واستخدامها في آلات التبريد فقد أدى استخدام الضواغط التوربينية في آلات التبريد الهوائية إلى رفع كفاءتها إذ إنه عند درجات حرارة منخفضة (^oC 70- .. 60-) تتعادل آلة التبريد الهوائية مع آلة التبريد البخارية وتتفوق عليها عند درجات حرارة أخفض من ^oC 80- .

بالإضافة إلى ما سبق تجدر الإشارة إلى أنه تم إدخال تحسينات كثيرة على دارة آلة التبريد الهوائية مما رفع من قيمة معامل أدائها التبريدي بشكل ملموس .

9 - 1 - 1 – الدورة النظرية لآلة التبريد الهوائية :

تتألف الدورة البسيطة لآلة التبريد الهوائية بشكل أساسي من إجراءين أديباتيين وإجراءين إيزوباريين (بثبوت الضغط) .

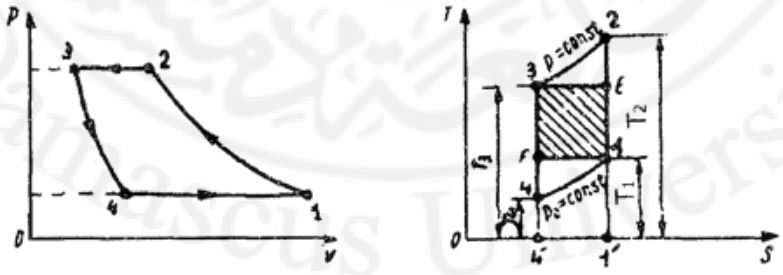
يبين الشكل (1 - 9) الدورة النظرية البسيطة لآلة التبريد الهوائية .



الشكل (1 - 9) مخطط لآلة تبريد هوائية

1- براد -2- ضاغط -3- مبرد -4-ممدد توربين

في هذه الدورة – شكل (1 - 9) – يتم انضغاط الهواء أديباتياً في الضاغط وفق الإجراء (2-1) ومن ثم يتم تبريده عند درجة حرارة مساوية درجة حرارة الوسط المحيط وعند ضغط ثابت –الإجراء (3-2). بعد عملية التبريد هذه يمرر الهواء المضغوط عبر ممدد توربيني حيث تتم عملية التمدد هذه – الإجراء (4-3) – أديباتياً من الضغط P وحتى الضغط P_O وبالتالي تنخفض درجة حرارة الهواء إلى الدرجة T_O .



الشكل (2 - 9)

تمثيل الدورة النظرية لآلة التبريد الهوائية على مخطط (P - V) .

يتم إدخال الهواء المبرد إلى الدرجة T_o الى غرفة التبريد حيث يمتص الحرارة من الغرفة على حساب ارتفاع درجة حرارته – الإجراء (1-4) – وعند ثبوت الضغط. تكون قيمة العمل الناتج والمفيد في الممدد التوربيني أقل من قيمة العمل المبذول في الضاغط وذلك لأن عملية تبريد الهواء قبل دخوله إلى الممدد تفقد الهواء جزءاً من طاقته .

يتحدد العمل المصروف اللازم لتحقيق الدورة بالمساحة (4-3-2-1) – انظر الشكل (1 - 9) و (2 - 9) كما يتمثل الإنتاج التبريدي للآلة بالمساحة (4`-1`-1-4) .

يتحدد العمل النوعي المصروف في الضاغط بالعلاقة التالية :

$$w_c = C_p (T_2 - T_1) \qquad (9 - 1)$$

أما العمل المفيد في الممدد التوربيني فيساوي:

$$w_e = C_p (T_3 - T_4) \qquad (9 - 2)$$

ومنه يتحدد العمل المبذول لتحقيق الدورة بالعلاقة :

$$w = w_c - w_e = C_p (T_2 - T_1) - C_p (T_3 - T_4) \qquad (9 - 3)$$

تتحدد الإنتاجية التبريدية النوعية بالعلاقة التالية :

$$q_o = C_p (T_1 - T_4) \qquad (9 - 4)$$

ومنه يمكن حساب معامل الأداء التبريدي كمايلي :

$$\varepsilon = \frac{q_o}{w} = \frac{C_p(T_1 - T_4)}{C_p(T_2 - T_1) - C_p(T_3 - T_4)} \qquad (9 - 5)$$

بحذف C_p في العلاقة الأخيرة والإصلاح بملاحظة أن $T_2/T_1 = T_3/T_4$ نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} \qquad (9 - 6)$$

أو :

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \qquad (9 - 7)$$

من الواضح أنه في دورة كارنو التبريدية التي يتم فيها امتصاص وطرح الحرارة من أو إلى الوسط العامل بثبوت درجة الحرارة تساوي قيمة معامل الأداء:

$$\varepsilon_c = \frac{T_1}{T_3 - T_1} \qquad (9 - 8)$$

بمقارنة كل من العلاقتين (7 - 9) و (8 - 9) نجد أن :

$T_2 - T_1 > T_3 - T_1$

ومنه نستنتج أن قيمة معامل الأداء التبريدي في دورة كارنو أكبر من قيمة معامل الأداء في آلة التبريد الهوائية ، أي :

$\varepsilon_c > \varepsilon$

2 - 1 - 9 – دورة العمل الفعلية لآلة التبريد الهوائية :

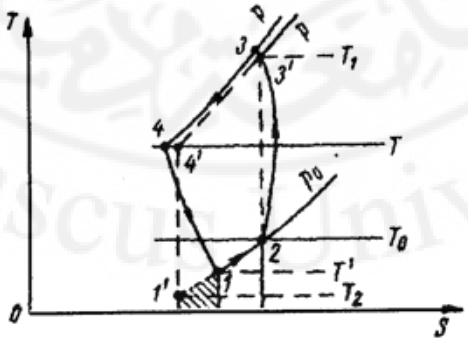
يبين الشكل (3 - 9) كلاً من الدورة النظرية لآلة التبريد الهوائية وتتمثل بالمساحة (4` - 3` - 2 -1`) والدورة الفعلية والتي تتمثل بالمساحة (4-3-2-1) من خلال دراسة الشكل يمكن استنتاج انحرافات الدورة الفعلية للآلة عن مثيلتها النظرية والتي يمكن تلخيصها كمايلي:

١ – قيمة الضغط في نهاية عملية الانضغاط للدورة الفعلية أكبر منه في حالة الدورة النظرية حيث ينتج هذا الفرق بسبب ضرورة التغلب على المقاومات الهيدروليكية في الدارة الفعلية .

٢ – العمل الفعلي المبذول في عملية الانضغاط أكبر من العمل النظري بسبب وجود ضياعات احتكاكية .

٣ – إن قيمة العمل المرجع أو المستفاد منه في الممدد التوربيني والذي نحصل عليه في الدورة الفعلية أقل من العمل النظري المفيد للممدد التوربيني وذلك يعود أيضاً لضياعات الاحتكاك.

٤ – تكون قيمة الانتاج التبريدي في الدورة الفعلية أخفض من قيمته في الدورة النظرية بشكل يتناسب مع المساحة المهشرة على الشكل (3 - 9) والسبب في ذلك يعود الى أن درجة الحرارة الفعلية للهواء عند خروجه من الممدد تكون أعلى من درجة الحرارة المحسوبة نظرياً



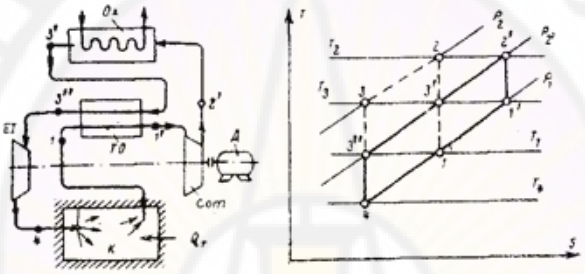
الشكل (3 - 9) الدورة الفعلية والنظرية لآلة التبريد الهوائية

٥ – تكون درجة حرارة الهواء المبرد في الدورة الفعلية أكبر من قيمة درجة الحرارة في الدورة النظرية أي :

$$T_4 > T`_4$$

3 - 1 - 9 – دورة آلة التبريد الهوائية الإرجاعية :

يبين الشكل (4 - 9) مخططاً لآلة التبريد الهوائية الإرجاعية مع تمثيل عمل الآلة على إحداثيات (T - S) .



الشكل (4 - 9) آلة التبريد الهوائية الإرجاعية

يتم العمل في هذه الآلة على الشكل التالي :

يسحب الهواء البارد بعد خروجه من الغرفة المبردة عند درجة الحرارة T_1 عبر مبادل حراري إذ ترتفع درجة حرارته إلى الدرجة $T_1`$ وفي الوقت نفسه تنخفض درجة حرارة الهواء القادم إلى الممدد التوربيني من الدرجة $T_3`$ إلى الدرجة $T_3``$ أي أن مهمة المبادل الحراري هنا زيادة تبريد الهواء القادم إلى الممدد على حساب زيادة تسخين الهواء الخارج من الغرفة المبردة .

مما سبق يمكن تلخيص تسلسل سير العمليات في آلة التبريد الهوائية الإرجاعية كما يلي:

1-1` : تسخين عبر المبادل الحراري .

1`-2` : انضغاط أديباتي في الضاغط .

2`-3` : تبريد في المبرد .

3`-3`` : زيادة تبريد الهواء في المبادل الحراري .

3``-4 : تمدد في الممدد التوربيني .

4-1 : ارتفاع درجة حرارة الهواء في البراد .

بالمقارنة بين الدورة الإرجاعية المتمثلة بالمساحة (1-4-``3-`3-`2-`1-1 ) والدورة البسيطة المتمثلة بالمساحة ( 4-3-2-1 ) نلاحظ أن التأثير التبريدي الممكن الحصول عليه في الدورتين متساو كما أن عمل الانضغاط في الدورة الإرجاعية ( `2-`1) أقل من عمل الانضغاط في الدورة البسيطة (2-1) وبكلمة أخرى تكون نسبة الضغوط في حالة الدورة الإرجاعية أخفض من نسبة الضغوط في حالة الدورة البسيطة عند تأثير تبريدي متساو. نلاحظ أيضاً أن كمية الحرارة المطروحة في كلتا الحالتين تكون متساوية وبالتالي تكون قيمة معامل الأداء من الناحية النظرية متساوية بالنسبة لكل من الدورة الإرجاعية والبسيطة .

مما سبق نرى أن الدورة الإرجاعية تتميز بمايلي :

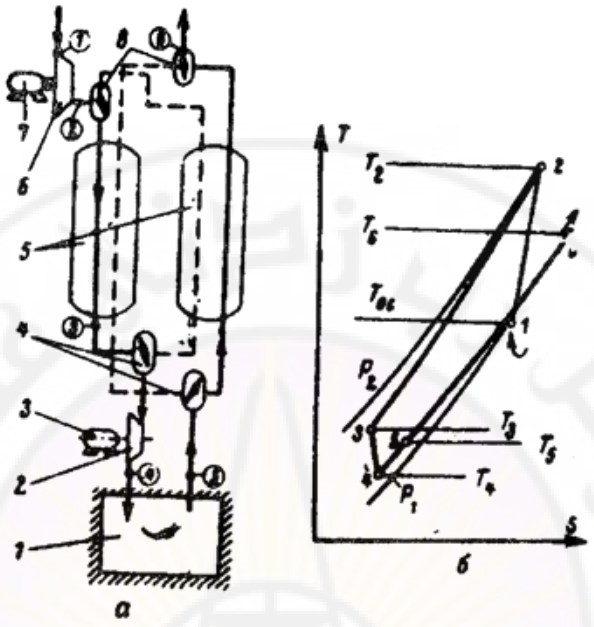
١ – تخفيض مستوى ارتفاع الضغط في الدورة مما يعدّ مناسباً بالنسبة لشروط عمل الضواغط التوربينية .

٢ – تكون قيمة معامل الأداء التبريدي الفعلي في الدورة الإرجاعية أكبر منه في حالة الدورة البسيطة لأن الضياعات اللامعكوسة في الدورة الإرجاعية تكون أقل.

4 - 1 - 9 – الدورة الإرجاعية المفتوحة مع ضغط زائد :

في هذه الدورة – الشكل (5 - 9) – يقوم الضاغط التوربيني (6) بضغط الهواء العادي (النقطة 1) إلى ضغط يعادل (3 .. 2) ضغط جوي ، ومن ثم يتجه الهواء المضغوط عبر المبادل الحراري اليساري (5) إذ تنخفض درجة حرارته حتى النقطة T_3 .

إن المبادل الحراري (5) مصمم بحيث يكون كمجمع للحرارة والبرودة ، يكون الضغط في النقطة (3) أخفض من الضغط في النقطة (2) وذلك بسبب المفاقيد الحاصلة في المبادل الحراري الهوائي .



الشكل (5 - 9) الدورة الإرجاعية عند ضغط زائد .

بعد خروج الهواء من المبادل الحراري يتمدد في الممدد التوربيني (2) إلى النقطة (4) حيث تكون قيمة ضغط الهواء في هذه النقطة أعلى بقليل من الضغط الجوي كما أن درجة حرارة الهواء تنخفض في الممدد التوربيني بحدود (40 .. 50 ^{o}C) .

عند دخول الهواء إلى الغرفة المبردة (1) يقوم بامتصاص الحرارة على حساب ارتفاع درجة حرارته حتى النقطة (5) ومن ثم يمر عبر المبادل الحراري اليميني حيث يقوم الهواء البارد بتبريد المبادل الحراري و أخيراً يتم طرد الهواء عبر الصمام (8) إلى الوسط الخارجي .

تكون درجة الحرارة T_3 عادة أعلى من درجة الحرارة T_5 بحدود (3..5 ^{o}C) كما أن درجة حرارة التبريد التي يمكن الوصول إليها في هذه الآلة تصل إلى $-100^{o}C$.

يكمن العيب الرئيس في هذه الدورة في أن جزءاً كبيراً من الإنتاجية التبريدية يصرف لتبريد المبادل الحراري .

5 - 1 - 9 - الدورة الإرجاعية المفتوحة بضغط منخفض (أخفض من الضغط الجوي):

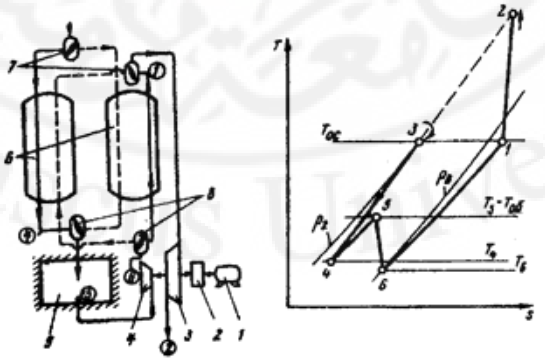
يبين الشكل (6 - 9) دورة آلة التبريد من هذا النوع .

يدخل الهواء ذو الضغط الجوي العادي عبر الصمام اليساري (7) إلى المبادل الحراري اليساري (6) إذ تنخفض درجة حرارته إلى الدرجة T_4 (مثلاً حتى ^oC 80-) ومن ثم يدخل الهواء عبر الصمام اليساري (8) إلى الغرفة المبردة (5) ليقوم بتبريد الغرفة على حساب ارتفاع درجة حرارته الذي قد يصل إلى ^oC 30 .

بعد خروج الهواء من الغرفة المبردة يذهب إلى الممدد التوربيني (4) إذ تجري عملية تمدده من الضغط الجوي العادي إلى ضغط أخفض (مثلاً bar 0.5) وبنتيجة عملية التمدد هذه تنخفض درجة حرارة الهواء مرة أخرى من 50- إلى 80- ويستفاد من درجة الحرارة المنخفضة هذه لتبريد المبادل الحراري اليميني وجعله جاهزاً لاستقبال الهواء الخارجي الجديد - الإجراء (6 - 1)- .

لدى خروج الهواء من المبادل الحراري اليميني يذهب إلى الضاغط التوربيني و الذي يقوم بضغطه إلى ضغط أعلى قليلاً من قيمة الضغط الجوي - الإجراء(2-1) - ليتم طرحه بعد ذلك إلى الوسط الخارجي .

عندما يصبح المبادل الحراري اليميني بارداً بما فيه الكفاية يتم تغيير اتجاه الصمامات (8 , 7) إذ تسمح للهواء الخارجي الجديد بالدخول إلى هذا المبادل الحراري ليتابع دورته عبر الغرفة المبردة و الممدد التوربيني و المبادل الحراري اليساري و أخيراً يذهب إلى الضاغط التوربيني إذ يطرد إلى الوسط الخارجي .



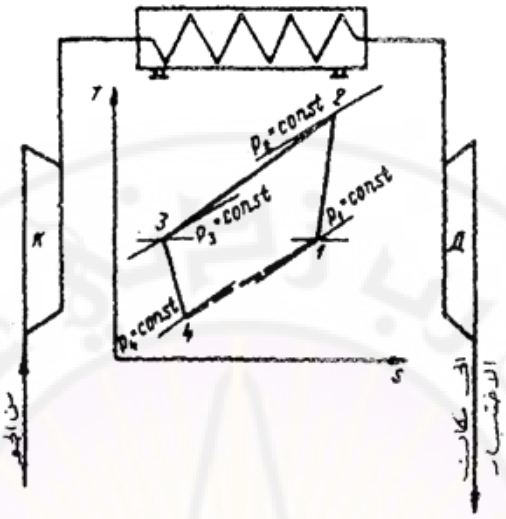
الشكل (6 - 9) الدورة الإرجاعية المفتوحة بضغط منخفض

مسألة :

أجرِ الحسابات الحرارية اللازمة لآلة التبريد الهوائية التي تقوم بتأمين تدفق الهـواء البارد اللازم لاختبار محرك حراري عند درجات حرارة منخفضة . آلة التبريد تعمـل علـى مبدأ الدورة الحرارية المغلقة كما يبين الشكل (a) .

المعطيات الأساسية للحساب:

- تدفق الهواء البارد $G_a = 2.96$ Kg /Sec
- درجة حرارة الهواء البارد $T_4 = 223$ ^oK
- درجة حرارة الهواء عند مدخل الضاغط (درجة حرارة الوسط المحيط) $T_1 = 293$ ^oK
- الرطوبة النسبية للهواء عند مدخل الضاغط $\varphi_1 = 0.9$
- ضغط الهواء عند مدخل الضاغط $P_1 = 0.10133$ MPa
- درجة حرارة الماء المبرد $T_W = 288$ ^oK
- ثابت الهواء الجاف $R_{d.o} = 287$ KJ/Kg.^oK
- ثابت بخار الماء $R_W = 462$ KJ/Kg.^oK
- الأس الأديباتي للهواء $K = 1.4$
- المردود الأديباتي للممدد التوربيني $\eta_{e.ad} = 0.89$
- المردود الأديباتي للضاغط $\eta_{c.ad} = 0.85$
- ثابت إعادة تثبيت الضغط الكامل في الضاغط $\sigma_{TP} = 0.995$
- ثابت إعادة تثبيت الضغط الكامل في نهاية المبرد $\sigma_{k..x} = 0.98$
- ضغط الهواء بعد الممدد $P_4 = 0.1095$ MPa
- المردود الميكانيكي للممدد $\eta_{e.m} = 0.99$
- المردود الميكانيكي للضاغط $\eta_{cm} = 0.99$
- فرق درجات الحرارة في نهاية المبرد $\Delta T =$ [illegible] ^oK



الشكل (a)

مخطط آلة التبريد الهوائية وتمثيل الدورة على احداثيات (T - S)

الحل :

- درجة حرارة الهواء عند مدخل الممدد التوربيني :

$$T_3 = T_W + \Delta T = 288 + 5 = 293 \quad {}^oK$$

من جدول البخار نجد ضغط البخار الجاف المشبع الموافق لدرجة حرارة الهواء عند مدخل الممدد إذ :

$$P``_{w3} = 0.00234 \quad MPa$$

ضغط البخار الجاف المشبع الموافق لدرجة حرارة الهواء عند مخرج الممدد .

$$P``_{w4} = 4.74 \times 10^{-6} \quad Mpa$$

ضغط البخار المشبع الجاف الموافق لدرجة الحرارة على مدخل الضاغط :

$$P``_{w1} = 0{,}00234 \quad Mpa$$

ضغط البخار الجزئي في الهواء المسحوب من قبل الضاغط .

$$P_{W1} = \varphi \, .P``_{w1} = 0.9 \times 0.00234 = 0.002106 \quad MPa$$

تتحدد نسبة التمدد π_e في الممدد التوربيني من العلاقة :

$$W_e = i_3 - i_4 = C_p . T_3 \left(1 - \frac{1}{\pi_e^{\frac{k-1}{k}}} \right) \eta_{e.ad} \qquad (A)$$

إذ :

$$i_3 = C_p \, . \, t_3 + d_3 \, (\, 2.5 \times 10^6 + 1930.t_3 \,) \qquad J/Kg$$

i_3 : انتالبي الهواء الرطب عند مدخل الممدد (على فرض أن الهواء لا يحمل قطرات رطوبة).

i_4 : انتالبي الهواء الرطب عند مخرج الممدد (بفرض أن كامل الرطوبة المتساقطة في إجراء التمدد قد تحولت إلى جليد).

$$i_4 = C_p \, . \, t_4 + d_4 \, (\, 2.5 \times 10^6 + 1930.t_4 \,) - (\, d_3 - d_4 \,) \, (\, 335 \times 10^3 - 2090.t_4 \,) \; J/Kg$$

كما تتحدد السعة الحرارية للهواء الرطب بالعلاقة :

$$C_{pw.a} = \frac{k}{k-1} . R_{w.a}$$

بعد تحديد كل من i_3 , i_4 و $C_{pw.a}$ عندها يمكن حساب كمية الرطوبة الموجودة في الهواء عند مدخل الممدد من العلاقة التالية :

$$d_3 = 0.622 \frac{P''_{w3}}{P_3 - P''_{w3}} \qquad Kg/Kg$$

كما نحسب كمية الرطوبة الموجودة في الهواء عند مخرج الممدد :

$$d_4 = 0.622 \frac{P''_{w4}}{P_4 - P''_{w4}} \qquad Kg/Kg$$

تتحدد قيمة ثابت الهواء الرطب $R_{w.a}$ عند مدخل الممدد بالعلاقة :

$$R_{w.a} = (R_{d.a} + d_3 . R_w) \, / \, (\, 1 + d_3 \,)$$

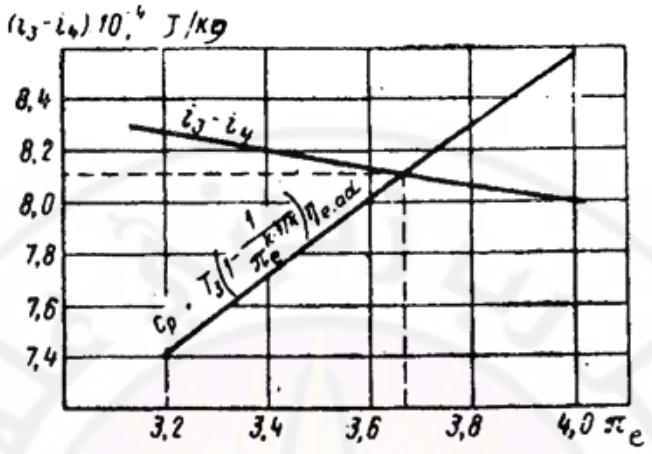
ومنه يمكن حساب السعة الحرارية للهواء الجاف :

$$C_{pd.a} = \frac{k}{k-1} . R_{d.a} = \frac{1.4}{1.4-1} \times 287 = 1005 \qquad J/Kg.^oK$$

بسبب كون المعادلة A غير خطية لذلك يكون حل هذه المعادلة ممكناً فقط بطريقة التقريب الداخلي أو بالطريقة البيانية بالاعتماد على قيم π_e المعطاة في الجدول :

قيم نسبة التمدد في الممدد التوربيني

المعادلات والرموز	وحدة القياس	قيم الحسابات عند π_e				
		3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
P_3	Mpa	0.3504	0.3723	0.3940	0.4160	0.4380
d_3	Kg/Kg	$4.19 \cdot 10^{-3}$	$3.94 \cdot 10^{-3}$	$3.71 \cdot 10^{-5}$	$3.52 \cdot 10^{-5}$	$3.34 \cdot 10^{-5}$
d_4	Kg/Kg	$2.69 \cdot 10^{-5}$	$2.69 \cdot 10^{-5}$	$2.69 \cdot 10^{-3}$	$2.69 \cdot 10^{-3}$	$2.69 \cdot 10^{-3}$
d_3-d_4	Kg/Kg	$4.163 \cdot 10^{-3}$	$3.913 \cdot 10^{-3}$	$3.683 \cdot 10^{-3}$	$3.493 \cdot 10^{-3}$	$3.313 \cdot 10^{-3}$
i_3	J/Kg	30720	30100	29520	29030	28570
i_4	J/Kg	-51985	-51905	-51805	-51720	-51640
$W_e=i_3 - i_4$	J/Kg	82.705	82005	81325	80750	80210
R	J/(Kg.K)	287.72	287.68	287.65	287.62	287.58
c_p	J/Kg.K)	1007.02	1006.88	1006.78	1006.67	1006.55
$c_p . T_3(1 - 1/\pi_e^{(k-1)/k})$	J/Kg	83000	86750	90150	93400	96400
$W_e=cp . T_s(1 - 1/\pi_e^{(k-1)/k})\eta_{e.ad}$	J/Kg	74100	77200	80200	83200	85750



الشكل (b)

من المخطط البياني المبين في الشكل (b) نجد نسبة التمدد في الممدد التوربيني :

$\pi_e = 3.66$

– ضغط الهواء عند مدخل الممدد :

$P_3 = 0.1095 \times 3.66 = 0.4$ M.Pa

– كمية الرطوبة في الهواء عند مدخل الممدد :

$d_3 = 0.622 \times 0.00234 / (0.4 - 0.00234) = 3.66 \times 10^{-3}$ Kg/Kg

– ضغط الهواء بعد الضاغط :

$$P_2 = \frac{P_3}{\sigma_{k.x} . \sigma_{T.B}} = \frac{0.4}{0.98 \times 0.995} = 0.41 \quad \text{MPa}$$

– نسبة ارتفاع الضغط في الضاغط :

$\pi_c = P_2 / P_1 = 0.41 / 0.10133 = 4.04$

– محتوى الهواء من الرطوبة قبل الضاغط :

$d_1 = 0.622 . P_{w1} / (P_1 - P_{w1})$

$= 0.622 \times 0.002106 / (0.10133 - 0.002106)$

$= 12.55 \times 10^{-3}$ Kg/Kg

– كمية الهواء المارة خلال الضاغط :

$$G_c = \frac{G_a}{1-(d_1 - d_3)} = \frac{2.96}{1-(12.55\times10^{-3} - 3.66\times10^{-3})} = 2.984 \quad \text{Kg/Sec}$$

- كمية الندى (قطرات البخار المتكاثفة) المتكاثفة :

$\Delta G = G_e - G_a = 2.984 - 2.96 = 0.024$ Kg/Sec

- الثابت الغازي للهواء الرطب :

$R_{w.a} = (287 + 3.66x10^{-3}) / (1 + 3.66x10^{-3}) = 287.64$ KJ/Kg.^oK

- السعة الحرارية للهواء الرطب :

$Cp_{w.a} = [1.4 / (1.4 - 1)] \times 287.64 = 1006.75$ KJ/Kg.^oK

- العمل النوعي للممدد :

$$W_e = 1006.75\times293\left(1-\frac{1}{3.66^{\frac{1.4-1}{1.4}}}\right)\times0.89$$

$W_e = 81100$ KJ/Kg

- الاستطاعة الفعالة للممدد :

$N_e = G_e (i_3 - i_4) \eta_{e.m}$

$= 2.96 \times 81100 \times 0.99 = 241000$ Watt

- الاستطاعة الفعالة للضاغط :

$$N_c = \frac{G_e(i_1 - i_2)}{\eta_{e.m}} = \frac{G_e.C_{Pw.a}.T_1\left(\pi_c^{\frac{k-1}{k}} - 1\right)}{\eta_{e.m}.\eta_{c.ad}}$$

$$N_c = \frac{2.984\times1006.75\times293\left(4.04^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right)}{0.99\times0.85} = 523000 \quad \text{W}$$

- استطاعة الناقل :

$N_T = (N_c - N_e) / \eta_{T.m} = (523 - 241) / 0.98 = 288$ KW

- عامل التبريد :

$$\varepsilon = \frac{G_d.C_{Pw,a}\left(T_i - T_4\right)}{N_c - N_e}$$
$$= \frac{3\times 1006.75\times(293-223)}{523000-241000} = 0.535$$

2 - 9 – دورة آلة التبريد الغازية (فيلبس) :

إن الدورة المؤلفة من إجراءين بثبوت الضغط وإجراءين أديباتيين بالنسبة للمصادر الحرارية ذات الحرارة الثابتة، تعطي كما رأينا سابقاً ضياعات لا عكوسة كبيرة. هذه الضياعات خُفضت بشكل ملحوظ في الدورة الإرجاعية المؤلفة من إجراءين بثبوت درجة الحرارة وإجراءين بثبوت الحجم (الشكل 9-7,a,b) .

بفضل إعطاء الحرارة وفق الإيزوترم (4-3) وليس وفق الإيزوبار (4`-3`) (الشكل 9-7,C) فإن الضياعات اللا عكوسة تنخفض إلى قيمة مكافئة للمساحة (4-3-3`-4). بشكل مشابه خفضت الضياعات عند طرح الحرارة وفق الايزوترم (2-1) إلى المصدر الحراري ذي درجة الحرارة المرتفعة.

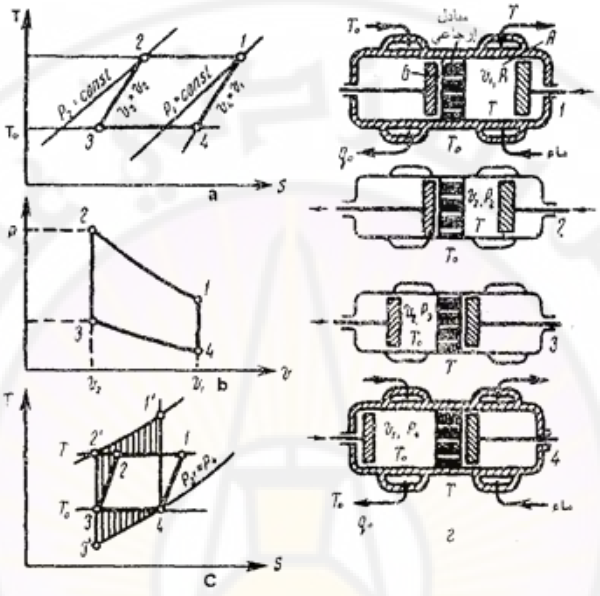
يمثل هذه الدورة تعمل آلة فيلبس الغازية. من الناحية النظرية تمتلك هذه الدورة معاملاً تبريدياً مساوياً المعامل التبريدي لدورة كارنو للمصادر الحرارية نفسها.

لندرس المخطط الذي يحقق مثل هذه الدورة الغازية المثالية، الموضح على الشكل (9-7,d). عند الانتقال من الحالة ١ إلى الحالة ٢ يتحرك في الاسطوانة المكبس اليميني فقط. يضغط الغاز من ضغط P_1 حتى ضغط P_2، وتُطرح حرارة الانضغاط إلى مياه التبريد ذات درجة الحرارة T في مبرد الضاغط.

يحصل إجراء الانضغاط بشكل أيزوترمي تقريباً، وذلك بفضل وجود المبرد ذي السطح المتطور مباشرة في حجرة الانضغاط. ويتم طرح الحرارة إليه خلال إجراء الانضغاط.

في الإجراء (3-2) يتحرك كلا المكبسين إلى اليسار بسرعة متساوية. الغاز يتحرك من حجرة الضاغط A إلى حجرة المدد، وبتلامسه مع الحشوة الباردة للمبادل الإرجاعي يبرد حتى درجة حرارة المصدر T_0 ، وحجمه النوعي V_2 عند ذلك لا يتغير.

في الإجراء (3-4) يتحرك إلى اليسار مكبس الممدد فقط. الحجرة B تزداد ويتمـدد الغاز من الضغط P_3 إلى الضغط P_4. إلا أن درجة حرارة الغاز T_o لا تنخفض لأنه خـلال إجراء التمدد يأخذ حرارة q_o من الوسط المبّرد الجاري عبر قميص الممدد.



الشكل (7-9): الدورة المثالية لآلة فيلبس التبريدية الغازية

في الإجراء (1-4) يتحرك كلا المكبسين إلى اليمين بسرعة واحدة، وينتقل الغاز من الحجرة B إلى الحجرة A، وبطريقة يبّرد المبادل الإرجاعي من درجة الحرارة T إلى درجة الحرارة T_o. بعد ذلك يضغط الغاز من جديد في الحجرة A وتتكرر إجراءات الدورة المغلقة من جديد.

كمية البرد الحاصل خلال الدورة لـ1Kg من الغـاز فـي الإجـراء (3-4) بعـد ملاحظة أن $V_4=V_1$، $V_3=V_2$ تحدد بالعلاقة :

$$q_o=RT_o\ln V_1/V_2 \qquad (9\text{-}9)$$

العمل المصروف في الدورة :

$$W = R(T - T_0)\ln V_1/V_2 \qquad (9\text{-}10)$$

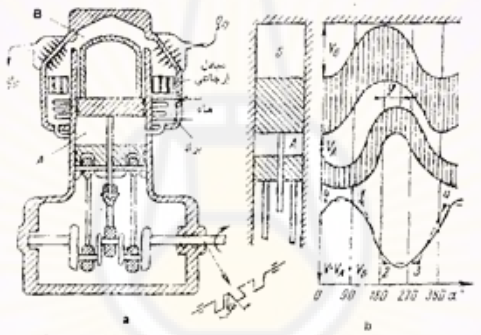
وبالتالي يكون المعامل التبريدي للآلة :

$$\varepsilon = q_o/w = T_o/T\text{-}T_o \qquad (9\text{-}11)$$

أي أنه معامل التبريد نفسه لدورة كارنو التبريدية.

بالاختلاف عن المخطط المثالي المدروس فإنه في الآلة الفعلية يتحرك كلا المكبسين بشكل مستمر. لذلك فإن الإجراءات تختلف بعض الشيء عن الايزوترمية، ومعامل التبريد يكون أقل من القيمة المحددة بالعلاقة (9-9).

يبين الشكل (8a - 9) مقطعاً مبسطاً لآلة فيليبس الغازية. التغير الدوري لحجمي الانضغاط A والتمدد B يتحقق هنا على حساب كون المرفقين الطرفيين للعمود الذي تنقل منه الحركة عبر ذراعي توصيل إلى المكبس السفلي (الأساسي) مزاحين بزاوية φ بالنسبة إلى المرفق الأوسط الذي ينقل الحركة إلى المكبس العلوي عبر ذراع التوصيل والدافع المركزي. المجمل العام للحجم (V_A+V_B) يتعلق بوضع المكبس السفلي فقط. المنحني السفلي على المخطط (9-8,b) يبين طبيعة تغير الحجم العام بالنسبة لزاوية دوران المرفق.



الشكل (8-9): آلة فيليبس التبريدية

مقطع مبسط، b– تغير حجمي الانضغاط A والتمدد B بتغير زاوية الدوران العمود α

عند دوران العمود تقريباً من 10 حتى 100° عندما يكون المكبس السفلي بالقرب النقطة الميته السفلى (ن.م.س) فإن الحجم العام لا يتغير تقريباً (الإجراء 1-4). عند ذلك فإن المكبس العلوي يتحرك للأعلى، فيقل الحجم B ويزداد الحجم A. ويبرد المبادل الإرجاعي من درجة الحرارة T حتى درجة الحرارة T_0.

عند حركة المكبس الأساسي باتجاه الأعلى $(\alpha \approx 100 \div 190^{o})$ ينخفض الحجم العام (الإجراء 2-1). طالما أنه في هذه اللحظة يكون المكبس العلوي بالقرب من النقطة الميته العليا (ن.م.ع) والمكبس السفلي يتحرك للأعلى، لذا يحصل انضغاط للغاز في الحجرة A وتبريده بالماء (في المبرد).

في الإجراء (2-3) ($\alpha \approx 100 \div 190^{o}$) يوجد المكبس السفلي بالقرب من النقطة الميتة العليا. الحجم العام يكون أصغرياً وثابتاً تقريباً، أما مكبس الممدد فيتحرك للأسفل ويزداد الحجم B ويقل الحجم A.

وبفضل ذلك فإن الغاز المضغوط ينتقل من الحجرة A إلى الحجرة B ويبرد بطريقه في المبادل الإرجاعي من درجة الحرارة T حتى درجة الحرارة T_o.

في الإجراء (3-4) يتحرك كلا المكبسين للأسفل. الحجم A ثابت تقريباً (أصغري)، أما الحجم B فيزداد. يتمدد الغاز مع إنجاز عمل ساعياً لأن يبرد، ولكنه يأخذ في الوقت نفسه كمية حرارة q_o من الوسط المحيط المتلامس مع السطح المريش العلوي الخارجي للأسطوانة.

تبقى درجة حرارة الغاز في عملية التمدد T_o ثابتة تقريباً، لأن التبريد الحاصل بسبب التمدد يعوض بكمية الحرارة q_o التي يعطيها الماء المبرد للغاز.

يؤخذ الهيدروجين أو الهيليوم كمادة عاملة. عند ذلك تعبأ الآلة حتى 1.6Mpa تقريباً (عند الوضع السفلي للمكبس الأساسي). الضغط الأعظمي نتيجة الحجم العام يكون أعلى بمعدل (2÷2.5) مرة.

العمل عند ضغوط أكثر انخفاضاً يكون غير مناسباً، لأنه عند ذلك تقل كمية الغاز الدائر وبالتالي تقل الإنتاجية التبريدية أيضاً.

إن استخدام الغازين المذكورين اللذين يملكان كثافة صغيرة، يسمح باستخدام أجهزة تبادل حراري بقنوات متعددة ذات مقطع مرور صغير (قطر 1mm وأصغر)، لذلك يتركز في حجم غير كبير سطح تبادل حراري كبير، وهذا يخفض بشكل حاد الضياعات اللا عكوسة على حساب انخفاض فرق درجات الحرارة، وكذلك كتلة وأبعاد الآلة.

حتى درجة حرارة $130^{o}C$- يمكن استخدام الهواء كمادة عاملة.

يمكن استخدام آلة فيليبس في مجال كبير لدرجة الحرارة (من 50- حتى $200C^{o}$-) وتستخدم لأسباب عديدة عند درجات حرارة منخفضة، عند عدم الحاجة لإنتاجية تبريدية كبيرة، للحصول على الهواء السائل والأزوت وتمييع الغازات الأخرى، لفصل الغازات في حالات أخرى.

3 - 9 -مقارنة آلات التبريد الهوائية والغازية بالبخارية :

الاختلاف الأساسي لآلات التبريد الهوائية عن البخارية من وجهة النظر الاقتصادية يكمن بأنه مع انخفاض درجة حرارة المصدر الحراري الأدنى T_o فإن الأداء الترموديناميكي (نسبة المعامل التبريدي الفعلي النظري) للآلات الهوائية يزداد بعض الشيء، أما للآلات البخارية فإنه ينخفض بشكل حاد. وذلك لأنه بانخفاض T_o في الآلات البخارية تزداد بسرعة نسبة الضغط P_C/P_o، وبالتالي تسوء المعاملات الفعلية للضاغط وتزداد الضياعات الاعكوسة في الدورة الفعلية. في الآلات الهوائية تكون نسبة الضغط P/P_o غير كبيرة (4÷2)، والقيمة المطلقة لعملي الانضغاط والتمدد لا تتغير تقريباً في مجال واسع لانخفاض درجة الحرارة T_o.

نتائج المقارنة تبين أنه عند درجات حرارة (-100^oC÷-80) فإن الآلات الهوائية والغازية تمتلك مؤشرات طاقية كالتي تملكها الآلات التسلسلية البخارية. في هذا المجال يجب أن يتحدد اختيار الآلة بتحليل فني اقتصادي كامل، آخذين بالحسبان مقاييس الآلة، ووثوقية العمل ومؤشرات استثمارية أخرى.

عند درجات حرارة أقل من $-100C^o$ تُفضل آلات التبريد الهوائية والغازية، وعند درجات حرارة أعلى من $-80C^o$ تُفضل آلات التبريد البخارية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

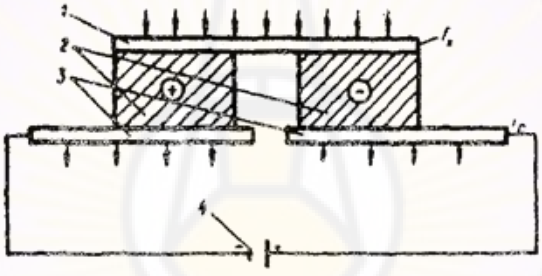
الفصل العاشر

آلات التبريد الكهرحرارية

10 - 1 – المبادئ الأساسية لنظرية التبريد الكهرحراري :

يمكن عدّ المزدوجة الحرارية آلة تبريد مثالية إذا لم نأخذ بالحسبان الإجراءات اللاعكوسية لانتقال الحرارة من الأقطاب الساخنة إلى الأقطاب الباردة وانتشار الحرارة بفعل جول في الطرفين الساخن والبارد .

يبين الشكل (1 - 10) مخططاً رمزياً للمزدوجة الحرارية :



الشكل (1 - 10) مخطط رمزي للمزدوجة الحرارية

تتصل القطعتان المستطيلتان 2 والمصنوعتان من مواد نصف ناقلة مع بعضهما بوساطة صفائح معدنية 1 , 3 والتي تشكل أقطاب المزدوجة الحرارية .

الجسم العامل في آلة التبريد هذه هو الغاز الإلكتروني والذي يقابل وسيط التبريد العادي في آلات التبريد البخارية .

تتحدد كمية الحرارة الممتصة في القطب البارد (السالب) بالعلاقة :

$$Q_p^o = e \cdot T_c \cdot I \qquad (10-1)$$

كما تتحدد كمية الحرارة المنتشرة من القطب الموجب (الساخن) بالعلاقة :

$$Q_p^h = e \cdot T_h \cdot I \qquad (10-2)$$

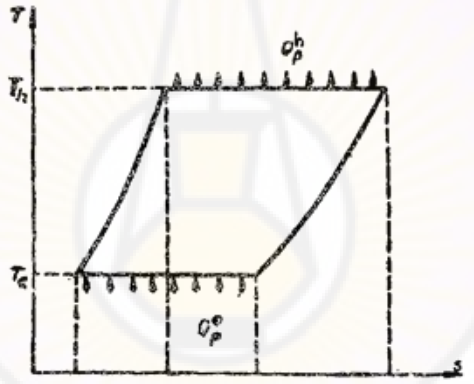
إذ :

e : معامل القوة المحركة الكهرحرارية للمزدوجة الكهرحرارية ويساوي المجموع المطلق لقيم معامل القوة المحركة الكهرحرارية الوسطية في المجال العامل لدرجات الحرارة بالنسبة لفرعي المزدوجة الحرارية الموجب و السالب .

T_c , T_h : درجة الحرارة المطلقة للقطبين البارد والساخن (^oK) .

I : شدة التيار (أمبير).

بفرض أن فرعي المزدوجة الحرارية معزولان بشكل مثالي بحيث يتم التبادل الحراري مع الوسط المحيط خلال الأقطاب فقط فإنه حسب القانون الأول للترموديناميك يساوي الفرق $W = Q_p^o - Q_p^h$ إلى العمل الذي يقوم به التيار ضد القوة المحركة الكهرحرارية للمزدوجة أي الاستطاعة المصروفة .



الشكل (2 - 10) تمثيل دورة المزدوجة الحرارية على مخطط (T - S)

هنالك جزء من الحرارة المنتشرة على القطب الساخن مقداره Q_T يعود إلى القطب البارد بالتوصيل الحراري بالإضافة إلى أنه تتولد على فرعي المزدوجة الحرارية كمية من الحرارة ، بنتيجة فعل جول ينتقل نصفها إلى القطب الساخن بينما ينتقل النصف الآخر إلى القطب البارد .

ومع أخذ كميات الحرارة هذه بالحسبان والتي تعدّ من نوع الإجراءات اللامعكوسة تصبح العلاقة الممثلة لكمية الحرارة الفعلية الممتصة بالقطب البارد (الإنتاجية التبريدية) على الشكل :

$$Q_o = Q_p^o - Q_T - 0.5\, Q_j \qquad (10-3)$$

كما تصبح كمية الحرارة المنتشرة على القطب الساخن :

$$Q_h = Q_p^h - Q_T + 0.5\, Q_j \qquad (10-4)$$

ومنه يمكن تحديد العمل الذي يقوم به التيار ضد القوة المحركة الكهرحرارية $E = e \cdot I\,(T_h - T_c)$ آخذين بالحسبان حرارة جول المنتشرة على طرفي المزدوجة الحرارية وفق العلاقة التالية :

$$W = Q_p^h - Q_p^o + Q_j = eI\,(T_h - T_c) + I^2 \cdot R \qquad (10-5)$$

إذ : R : المقاومة الكهربائية للدارة .

يمكن التعبير عن كمية الحرارة المنتشرة من القطب الساخن بالشكل :

$$Q_h = Q_o + W$$

وأخيراً يمكن بالتشابه مع آلات التبريد البخارية تحديد معامل تبريد المزدوجة الحرارية بالعلاقة:

$$\varepsilon = Q_o / W \qquad (10-6)$$

10 - 2 – أنظمة عمل المزدوجة الحرارية وبارامتراتها الأساسية :

رأينا أن كمية حرارة جول المتولدة على طرفي المزدوجة الحرارية تتبع لمربع شدة التيار كما أن كمية الحرارة الممتصة على القطب البارد ترتبط بشكل خطي مع شدة التيار.

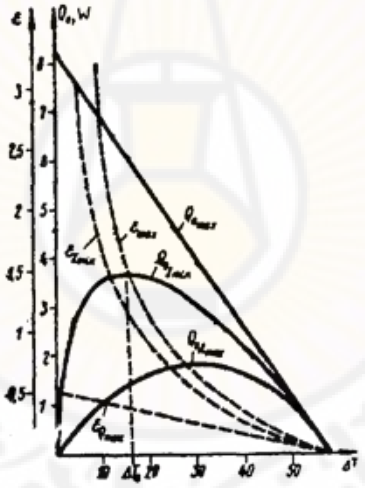
مما سبق نستنتج أنه لدى زيادة قيمة شدة التيار عن قيمة معينة سوف يؤدي ذلك إلى تخفيض الإنتاجية التبريدية المفيدة للمزدوجة علاوة على ذلك فإن قيمة معامل التبريد عند فرق درجات حرارة محدد بين قطبي المزدوجة يمكن أن يتغير تبعاً لنظام العمل والمقصود بنظام العمل هنا هو ظروف تشغيل المزدوجة التي يتمتع عندها بارامتر واحد أو أكثر بقيمة معينة .

نميز من بين هذه الأنظمة المختلفة ثلاثة أنظمة أساسية : يسمى الأول نظام إنتاجية التبريد العظمى (Q_{max}) ويتميز بأن قيمة شدة تياره العامل يطابق القيمة العظمى الممكنة.

يسمى النظام الثاني نظام التبريد الأعظمي (ε_{max}) ويتميز بتغير شدة تياره العامل تبعاً لتغير فرق درجات حرارة القطبين إذ نحصل على أدنى قيمة لنسبة التيار الكهربائي المستهلك على الإنتاجية التبريدية .

يسمى النظام الثالث نظام التيار الأدنى (I_{min}) ويتميز هذا النظام بعمله على قيمة دنيا لشدة التيار عند قيم معطاة للإنتاجية التبريدية المطلوبة وفروق درجات الحرارة على أقطاب المزدوجة .

يوضح الشكل (3 - 10) العلاقات البيانية لمعامل التبريد e و الإنتاجية Q_o تبعاً لفروق درجات الحرارة على الأقطاب وذلك عند عمل المزدوجة الحرارية على الأنظمة الثلاثة المشروحة أعلاه (I_{min} ، ε_{max} ، Q_{max}) .



الشكل (3 - 10)

نلاحظ من الشكل (3 - 10) أن أدنى إنتاجية تبريد للمزدوجة الحرارية تسود في نظام ε_{max}، كما نلاحظ أنه فقط في الحالة التي يقترب فيها فرق درجات حرارة الأقطاب من الفرق الأعظمي الممكن تصبح إنتاجيات التبريد في كل من الأنظمة الثلاثة متساوية عملياً.

مما سبق نستنتج أنه في حالة استعمال نظام ε_{max} عند فرق درجات حرارة وإنتاجية تبريد نحتاج إلى عدد أكبر من المزدوجات الحرارية للحصول على الإنتاجية

المطلوبة كما نلاحظ أنه في جميع الأنظمة تزداد قيمة ε بنقصان الفرق بدرجات الحرارة ΔT على الأقطاب وعندما $\Delta T = 0$ تصل قيمة ε في نظام Q_{max} إلى $\varepsilon=0.5$ أما بالنسبة لأنظمة I_{max} , I_{min} فتصبح $\varepsilon = \infty$.

يعدّ نظام I_{min} نظاماً متوسطاً بين نظامي ε_{max} , Q_{max}

وكما يعدّ النظام ε_{max} النظام الأمثل من وجهة نظر الاقتصاد بالطاقة الكهربائية ولكن عندما لاتزيد استطاعة التبريد المطلوبة على (10 .. 20 Watt) فإن عامل الاقتصاد يصبح غير ذي أهمية إذ تبرز هنا أهمية بساطة التصميم وصغر الأبعاد.

مما سبق نستنتج سبب استعمال نظام Q_{max} في الثلاجات الصغيرة. في الحالات التي تكون فيها تغذية البطاريات الحرارية تتم من مصادر تيار غير ثابتة عندها يكون النظام I_{min} النظام الأكثر قبولاً .

بشكل عام ترتبط الأعداد الحالية الأساسية للمزدوجة الحرارية مع بعضها بعلاقات مختلفة يمكن حصرها بمعادلتين عامتين صحيحتين من أجل أي نظام عمل.

تعبر المعادلة الأولى عن موازنة حرارية للقطب البارد في المزدوجة الحرارية وتكتب بالشكل :

$$Q_O = e \cdot I \cdot T_c - 0.5\, I^2 \cdot R - (e^2 . \Delta T) / (R.Z) \qquad (10 - 7)$$

أما المعادلة الثانية فتعبر عن الاستطاعة التي تستهلكها المزدوجة الحرارية وفق العلاقة:

$$N = I^2 \cdot R + e \cdot I \cdot \Delta T \qquad (10 - 8)$$

إذ :

$$Q_T = (e^2 . \Delta T) / (R.Z)$$

يسمى المقدار Z الوارد في العلاقة (7 - 10) فعالية مادة المزدوجة الحرارية ويتحدد بالعلاقة:

$$Z = \left(\frac{e}{\sqrt{x_1 . \rho_1} + \sqrt{x_2 . \rho_2}} \right)^2 \qquad (10 - 9)$$

إذ :

ρ_1 , x_1 : الناقلية الحرارية النوعية والمقاومة الكهربائية النوعية للطرف الأول.

ρ_2 , x_2 : الناقلية الحرارية النوعية والمقاومة الكهربائية النوعية للطرف الثاني.

من معادلة Q_T نرى أنها تتناسب عكساً مع قيمة Z مما يتطلب أن تكون قيمة Z أكبر مايمكن ويتحقق ذلك عندما تكون نسبة مقطعي فرعي المزدوجة الحرارية m –على فرض أن ارتفاع الفرعين متماثل – محققة للشرط التالي :

$$m = \sqrt{\frac{x_2 . \rho_1}{x_1 . \rho_2}} \qquad (10 - 10)$$

تبقى المعادلتان (10 - 8) , (10 - 7) صحيحتين من أجل أي قيم لـ R و I مع الالتزام بالشرط $Q_O \geq 0$.

يمكن الحصول على العلاقة ما بين R و I التي يكون عندها Q_O تساوي الصفر. بمساواة المعادلة (10 - 7) بالصفر و منه :

$$I = \frac{e.\sqrt{1 + 2Z.T_h} - 1}{R.Z} = \frac{e.T_c}{R} \qquad (10 - 11)$$

عند انعدام التبادل الحراري الإشعاعي وعند كون كثافة الوسط المحيط أصفرية يصبح فرق درجات الحرارة على أقطاب المزدوجة الحرارية أعظمياً ويساوي إلى :

$$\Delta T_{max} = \frac{Z.T_c^2}{2} = \frac{\left(\sqrt{1 + 2ZT_c} - 1\right)^2}{2Z} \qquad (10 - 12)$$

يتحدد هبوط القوى في المزدوجة الحرارية بالعلاقة التالية :

$$V = I . R + e . \Delta T \qquad (10 - 13)$$

10 - 3 – اختيار مواد المزدوجات الحرارية :

يعدّ المقياس الأساسي عند اختيار المواد، الفعالية العظمى الممكن الوصول إليها.

تتحدد فعالية المواد المستخدمة في المزدوجات الكهرحرارية بالعلاقات التالية :

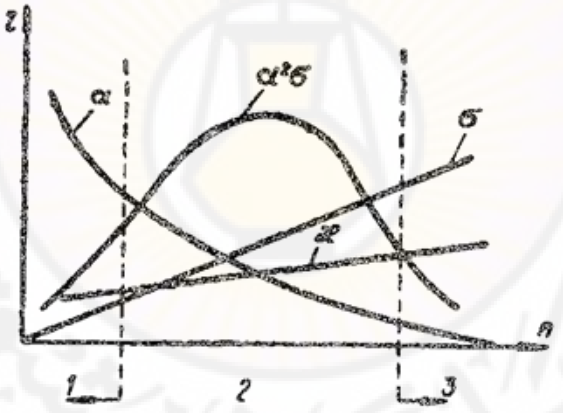
$$Z_{(-)} = \frac{\alpha_{(-)}^2 . \sigma_{(-)}}{x_{(-)}} \qquad (10 - 14)$$

$$Z_{(+)} = \frac{\alpha^{2}_{(+)} \cdot \sigma_{(+)}}{x_{(-)}} \qquad (10 - 14`)$$

تتعلق كل من معامل القدرة المحركة الكهرحرارية α والناقلية الكهربائية النوعية σ والناقلية الحرارية النوعية x بالتركيز n لنواقل التيار (أي الإلكترونات أو الفجوات) يوضح الشكل (4 - 10) هذه العلاقات بيانياً ، حيث نلاحظ أن قيمة Z بالنسبة للمعادن تأخذ قيمة منخفضة جداً بسبب صغر قيمة معامل القدرة المحركة الكهرحرارية .

كما تنتهي قيمة Z في العوازل إلى الصفر بسبب ضآلة ناقليتها الكهربائية وتصل Z إلى قيمة كبيرة في أنصاف النواقل التي يدخل في تركيبها (S_b , S_e , T_e , B_i) .

وفي الوقت الحاضر انتشرت المزدوجات الحرارية المصنوعة من خلائط (B_{i2} T_{e3} + S_{b2} T_{e3}) للطرف الفجوي الموجب و (B_{i2} T_{e3} + B_{i2} S_{e3}) للطرف الإلكتروني السالب حيث يضاف إليهما شوائب مختلفة لتحسين بارامتراتها الكهرحرارية .



الشكل (4 - 10) علاقة α , σ , x بتركيز نواقل التيار

١ – عوازل ٢ – أنصاف نواقل ٣ – معادن

4 - 10 – تقييم فعالية استخدام التبريد الكهرحراري :

في المزدوجات الحرارية العصرية يصل فرق درجات الحرارة الأعظمي إلى (70 .. 90) درجة .

عند مراعاة ضرورة اختيار إنتاجية التبريد المناسبة عندها يتم تحديد فرق درجات الحرارة العاملة على قطبي المزدوجة بحيث لا يتجاوز الستين درجة .

يمكن أن يصل فرق درجات الحرارة العاملة في المزدوجات الحرارية المتصلة على التسلسل إلى (100) درجة أو أكثر .

تتميز دارات التبريد (البرادات) العاملة على مبدأ المزدوجات الحرارية بأنها سهلة النقل ولا تحتوي أجزاء متحركة وبالتالي سهولة الصيانة ، إضافة إلى ميزة كون هذه المبردات تعمل بدون الحاجة إلى وسائط تبريد .

ساعدت هذه المميزات على انتشار هذا النوع من الآلات أما من ناحية القدرة فتعد هذه المبردات غير اقتصادية بالمقارنة مع آلات التبريد البخارية وعلى سبيل المثال تصل قيمة معامل التبريد للمزدوجات الحرارية عند فرق درجات الحرارة على الأقطاب (40 .. 30) درجة إلى الواحد أو أقل وهذه القيمة أخفض بكثير من قيمة معامل التبريد لآلات التبريد البخارية عند فرق مماثل لدرجات الحرارة .

عند استطاعات تبريدية صغيرة (لاتتجاوز الـ 20 Watt) تصبح قيمة معامل التبريد للمزدوجة الحرارية أكبر من قيمته بالنسبة لآلات التبريد البخارية بسبب كبر قيمة مفاقيد آلات التبريد المكبسية.

تتميز المزدوجات الحرارية بإمكان عكس اتجاه انتقال الحرارة وذلك بقلب جهة التيار مما يساعد على انتشار هذا النوع من الآلات بشكل واسع في صناعة مكيفات الهواء .

الفصل الحادي عشر

آلات التبريد القاذفة للبخار

1 - 11 – مبدأ العمل، إجراء العمل النظري والمعامل الحراري :

تنتسب آلات التبريد القاذفة للبخار إلى مجموعة آلات التبريد التي تستخدم القدرة الحرارية ولا ينفق فيها قدرة ميكانيكية إلا أنه من أجل تحقيق الدارة العكسية في الآلة القاذفة البخارية نفسها يتم تحويل القدرة الحرارية إلى عمل ميكانيكي وبهذا الشكل تتضمن الآلة القاذفة البخارية مجموعة متسلسلة من الإجراءات المباشرة والمعكوسة .

غالباً ما يكون الجسم العامل في الآلة القاذفة البخارية الماء إلا أنه في بعض الأحيان عندما يراد الحصول على درجات حرارة منخفضة فتستعمل فريونات مختلفة كوسائط تبريد .

يحبذ استعمال الماء كجسم عامل في الدارات العكسية بسبب رخصه وعدم ضرره، إلا أن استعمال الماء يحدد متطلبات خاصة بالنسبة للآلة تتعلق بالخواص الترموديناميكية له .

يتطلب الحصول على درجات حرارة أخفض من الصفر (أو قريبة منه) وجود تخلخل أو ضغط سالب في المبخر وعلى سبيل المثال يغلى الماء عند درجة حرارة صفر مئوية عند قيمة ضغط تساوي 611 باسكال كما يغلى عند درجات حرارة $-10^{o}C$, $-20^{o}C$ عند ضغوط تساوي 284 , 127.2 باسكال .

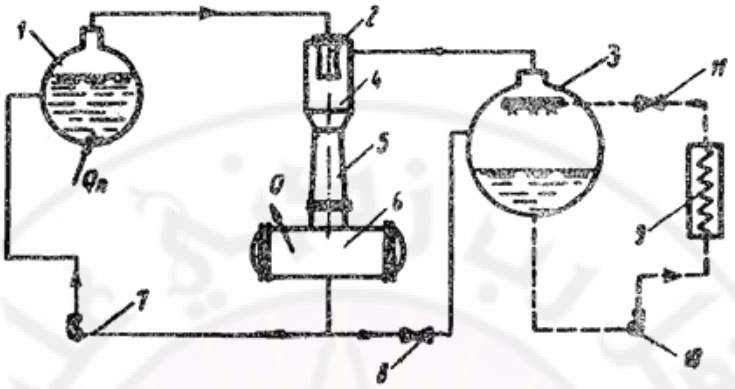
عند قيم الضغوط هذه يأخذ الحجم النوعي لبخار الماء المشبع القيم :

955 m^3 / kg, 211.451 على التوالي ومنه نرى أن حجم البخار الواجب مروره عبر المبخر كبير جداً .

نتيجة لكبر حجوم البخار يستحيل عملياً استعمال الضواغط العادية المكبسية أو حتى الضواغط الطاردة المركزية .

يتم دفع بخار الماء عبر المبخر باستخدام قاذف بخاري ذي مقاييس (أبعاد) صغيرة بسبب إمكان اعتماد سرعات عالية لبخار الماء .

يبين الشكل (1 - 11) مخططاً مبدئياً لآلة التبريد القاذفة البخارية العاملة على الماء .



الشكل (1 - 11) مخطط آلة التبريد القذفة البخارية

يتجه البخار العامل من مولد البخار 1 إلى نفاثة القاذف 2 إذ تتحول ضمنها الطاقة الكامنة للبخار إلى طاقة حركية ذات سرعة عالية .

تسبب هذه السرعة ضمن البوق توليد ضغط سالب (تخلخل) يؤدي إلى جذب الأبخرة الباردة القادمة من المبخر 3 حيث يتم اختلاط الأبخرة في الحجرة 4 .

يتجه خليط البخار (العامل والبارد) إلى الديفيوزر (بوق ناشر) 5 حيث يرتفع فيه ضغط البخار على حساب انخفاض سرعته وبالتالي تتحقق عملية انضغاط البخار من ضغط التبخر P_O حتى قيمة الضغط في المكثف P .

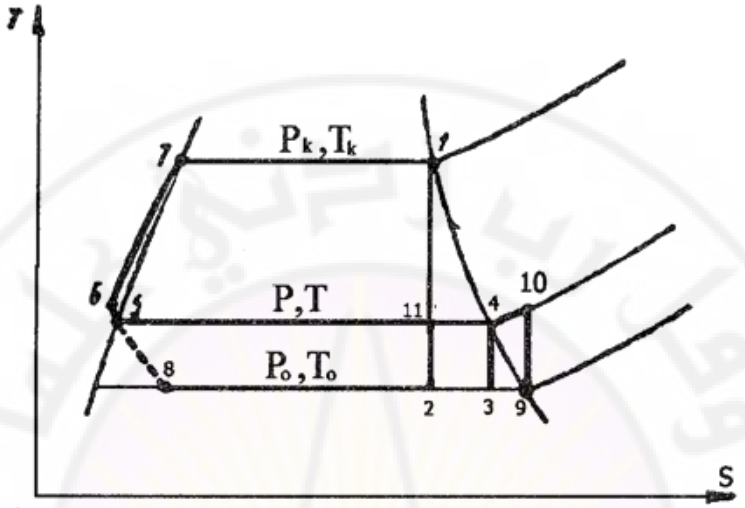
تتم عملية تكاثف البخار في المكثف 6 باستعمال الماء كسائل تبريد .

تنقسم كمية الماء المتكاثفة في المكثف إلى جزأين يذهب الجزء الأول بوساطة مضخة 7 إلى مولد البخار 1 أما الجزء الآخر فيوجه إلى المبخر مروراً بصمام الخنق 8 .

تتم عملية تبريد كتلة الماء الموجودة ضمن المبخر على حساب تشكل البخار حيث إنه كما هو معروف تتطلب عملية تشكل البخار نزع حرارة من الوسط المحيط (الماء في حالتنا) تعادل في قيمتها الحرارة الكامنة لتشكل البخار r عند قيمة الضغط P_O .

تسمى كمية الماء الموجودة ضمن المبخر والجاهزة للاستعمال لأغراض التبريد الماء العامل ، يتم سحب الماء العامل من المبخر عبر مبادل حراري 9 (مستهلك البرودة) بوساطة مضخة 10 ومن ثم يعود الماء إلى المبخر ثانية عبر صمام الخنق 11.

يبين الشكل (2 - 11) الدورة النظرية لآلة التبريد القاذفة البخارية على مخطط(T - s) .



الشكل (2 - 11) تمثيل الدورة النظرية لآلة التبريد القاذفة البخارية على مخطط (T - S)

يتمدد البخار العامل ذو الضغط P_k في النفاثة حتى الضغط P_o أديباتياً – الإجـراء (1-2) – يمتزج البخار المتمدد (النقطة 2) مع البخار القادم من المبخر (النقطة 9) حيث يتشكل لدينا مزيج بخاري رطب (النقطة 3) .

ينضغط المزيج في الديفيوزر أديباتياً حتى الضغط P – الإجراء (3-4) – ومن ثـم يتكاثف جزء من البخار في المكثف – الإجراء (4-5) .

يطابق الإجراء الأديباتي (5-6) عمل المضخة التي تقوم بضخ الماء المتكاثف إلـى مولد البخار .

يتم خنق الجزء الآخر من البخار – الإجراء (5-8) – قبل دخوله إلى المبخر إلـى الضغط P_o .

يمثل الإجراء (6-7) و (1-7) كلاً من عمليتي تسخين الماء ومن ثم التبخر ضـمن مولد البخار.

مما سبق يمكننا أن نميز في آلة التبريد القاذفة البخارية دارتين :

الدارة المباشرة وتتمثل بالنقاط (1-11-5-6-7-1) والدارة المعكوسة وتتمثل بالنقاط (9-8-5-10-9) .

إذا افترضنا أنه يمر خلال المبخر 1 kg من الجسم العامل فيلزم مرور α kg عبر مولد البخار إذ :

$$\alpha = G_{W,S} / G_{c,S} \qquad (11-1)$$

إذ :

$G_{W,S}$: كمية البخار العامل .

$G_{c,S}$: كمية البخار البارد .

يسمى المقدار α معامل الاستهلاك النوعي للبخار .

يمكننا أن نكتب بالنسبة للدورة النظرية مايلي :

$$\alpha_T \cdot |w| = |w_o|$$

إذ : w ، w_o هما عمل الدورة النظرية المباشرة والعكسية :

$$\alpha_T = \frac{w_o}{w} = \frac{i_{10} - i_9}{(i_1 - i_{11}) - (i_6 - i_5)} \qquad (11-2)$$

يمكن وضع معادلة الميزان الحراري بالشكل :

$$(1+\alpha_T)q = q_o + \alpha_T q_b + \alpha_T q_p \qquad (11-3)$$

إذ :

$(1+\alpha_T)\, q = (1+\alpha_T)(i_4 - i_5)$: الحرارة المطروحة في المكثف .

$q_o = (i_9 - i_8)$: إنتاجية التبريد النوعية .

$\alpha_T q_p = \alpha_T (i_6 - i_5)$: المكافئ الحراري لعمل المضخة .

$\alpha_T q_b = \alpha_T (i_1 - i_6)$: الحرارة المقدمة في المولد .

يتحدد معامل التبريد للدورة العكسية بالعلاقة :

$$\varepsilon_T = \frac{q_o}{w_o} = \frac{i_9 - i_8}{i_{10} - i_9} = \frac{i_9 - i_8}{\alpha_T[(i_1 - i_{11}) - (i_6 - i_5)]} \qquad (11-4)$$

يمكن تقييم فاعلية الدورة المباشرة بالمعامل الحراري

$$\eta_T = \frac{w}{q_b} = \frac{(i_1 - i_{11}) - (i_6 - i_5)}{(i_1 - i_6)}$$

ومن أجل إجراء تقويم طاقي لفعالية الآلة ندخل ما يسمى المعامل الحراري ζ_T والـذي يساوي نسبة إنتاجية التبريد إلى الحرارة المصروفة أي :

$$\zeta_T = \frac{Q_o}{Q_b} = \frac{q_o}{\alpha_T q_b} = \frac{q_o / w_o}{\alpha_T q_b / w_o} = \varepsilon . \eta_T$$

يمكن أيضاً تقويم مدى مثالية الإجراءات الترموديناميكية بإدخال معامل الانعكـاس وفق المعادلة:

$$\eta = \zeta_T / \eta_{rev} = \frac{\varepsilon_T \cdot \eta_T}{\varepsilon_{rev} \cdot \eta_{trev}} \qquad (11\text{-}5)$$

إذ :

$\eta_T, \varepsilon_T, \zeta_T$: هي على التوالي معاملات العمـل المفيـد الحـراري والتبريـدي والترموديناميكي.

$\eta_{Trev}, \varepsilon_{rev}, \zeta_{rev}$: المدلولات السابقة نفسها ولكن بالنسبة للدارة العكسية.

تأخذ عادة درجة الإنعكاس η_{rev} قيماً ضئيلة تساوي 0.22 .. 0.17 وذلـك نتيجـة لعدم كمال أجهزة تيارات البخار إذ تكون المفاقيد كبيرة.

$$\varepsilon_{rev} = \frac{T_o}{T_{o\text{-}t} - T_o}$$

إذ :

T_o : درجة حرارة الماء المبرد على مخرج المبخر K^o

$T_{o.t}$: درجة حرارة الوسط المحيط K^o

$$\eta_{trev} = \frac{T_h - T_{o\text{-}t}}{T_h}$$

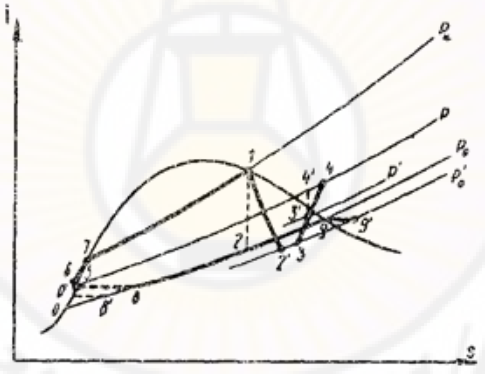
إذ :

T_h : درجة حرارة المصدر الساخن

2 - 11 –الدارة الفعلية لعمل آلة التبريد القاذفة للبخار :

يوضح الشكل (3 - 11) تمثيل الدارة الفعلية لعمل آلة التبريد القاذفة البخارية على مخطط (i - s) .

نلاحظ من الشكل (3 - 11) وجود انحرافات واضحة للدارة الفعلية عن مثيلتها النظرية ، تفسر هذه الانحرافات بأنها نتيجة للإجراءات اللاعكوسية لتمدد البخار العامل في البوق النفاث وانضغاط المزيج البخاري في الديفيوزر إضافة إلى المفاقيد الناتجة عن اصطدام البخار البارد بالبخار العامل .



الشكل (3 - 11) تمثيل الدارة الفعلية على مخطط (i - s)

مما يزيد من إمكان الانحراف عن الدارة النظرية حدوث تسرب للهواء إلى داخل آلة التبريد وذلك عند عمل المكثف والمبخر عند ضغط سالب .

يؤدي حصول هذه المفاقيد إلى كون قيمة المعامل الحراري الحقيقي ζ_r أصغر من قيمة المعامل الحراري النظري ويعبر عن ذلك بالمعادلة :

$$\zeta_r = \zeta_r \cdot \eta_{str} \cdot \eta_{rev} \cdot \eta_{tr} \qquad (11 - 6)$$

إذ :

η_{str} : معامل العمل المفيد للدارة المباشرة .

η_{rev} : معامل العمل المفيد للدارة العكسية .

η_{tr} : معامل العمل المفيد المنتقل من الدارة المباشرة إلى الدارة العكسية .

يمكن التعبير عن المعامل الحراري الحقيقي بشكل آخر :

$$\zeta_r = q_o / (\alpha_r \cdot q_b) \qquad (11 - 7)$$

إذ : α_r يسمى قابلية القسمة للجريان في الدارة الفعلية. يسمى مقلوب α_r بمعامل القذف U أي:

$$U - 1 / \alpha_r \qquad (11 - 8)$$

في الواقع يرتبط حساب قابلية القسمة الفعلية للجريان α_r أو معامل القذف U بتقدير مفاقيد الإجراءات الحقيقية في الدارة .

في الدارة الفعلية لآلة التبريد القاذفة البخارية يدخل البخار العامل ذو البارامترات P_k ، t_1 (النقطة 1) إلى البوق النفاث إذ يتمدد بوليتروبياً - الإجراء (1-2`) - حتى الضغط $P`_o$ والذي تقل قيمته عن P_o (الضغط في المبخر) بمقدار المفاقيد الحاصلة في المجاري الواصلة بين المبخر وحجرة المزج أي :

$$\Delta P = P_o - P`_o$$

يدخل التيار البخاري المشبع (النقطة 9) و القادم من المبخر إلى حجرة المزج بضغط $P`_o$ ( النقطة 9`) .

بنتيجة حدوث تعادل في السرعات ضمن حجرة المزج يرتفع ضغط المزيج إلى القيمة P` ( النقطة 3`) .

يدخل التيار البخاري المحددة بارامتراته وفقاً للنقطة 3` إلى الديفيوزر إذ يرتفع ضغط المزيج من P` إلى P (النقطة 4) .

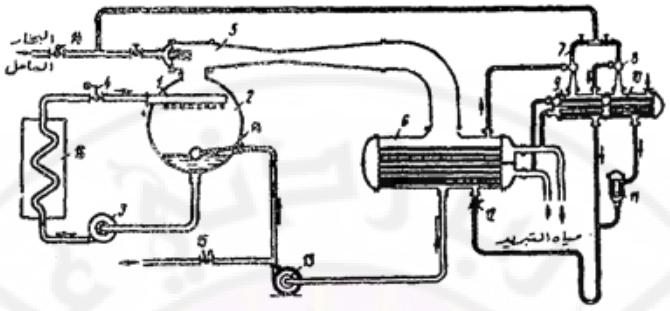
بعد تكاثف البخار بثبوت درجة الحرارة يتوزع الماء المتكاثف (النقطة 5) إلى جهاز توليد البخار وصمام الخنق .

يتألف البخار انرطب الداخل إلى المبخر (النقطة 8) من طورين :

الطور السائل ويتمثل بالنقطة 0 والطور البخاري الجاف (النقطة 9) .

يذهب البخار الخارج من المبخر (النقطة 9) إلى البوق النفاث كما ذكرنا سابقاً أما الماء ذو الحالة 0 فيتم سحبه بوساطة مضخة إلى مبادل حراري (مستهلك برودة).

يبين الشكل (4 - 11) آلة التبريد القاذفة البخارية :



الشكل (4 - 11) المخطط التشغيلي لآلة التبريد القاذفة البخارية

١- بخاخ -٢- مبخر -٣- مضخة -٤- صمام خنق -٥- بوق نفاث
٦- مكثف رئيس -٧- بوق نفاث مساعد -٨- بوق نفاث مساعد
٩- مكثف مساعد -١٠- مكثف مساعد -١١- صمام مجهز بعوامة
١٢- صمام عدم رجوع -١٣- مضخة -١٤- صمام مجهز بعوامة
١٥- صمام خنق -١٦- مستهلك البرودة .

تعمل غالبية الأجهزة الأساسية للآلة كالمبخر والمكثف والبوق النفاث الرئيس وغيرها تحت ضغط أخفض من الضغط الجوي وينتج عن ذلك إمكان تسرب الهواء إلى الآلة مما يؤدي إلى اختلال قيم الضغوط السائدة في الأجزاء المختلفة للدارة .
لتفادي حصول مثل هذا التأثير ينبغي سحب الهواء باستمرار من المجموعة .

يتم سحب الهواء بوساطة أبواق نفاثة مساعدة (ثانوية) على مرحلتين ، إذ يدخل الهواء القادم من المكثف الرئيس بضغط P إلى البوق النفاث الثانوي التابع للمرحلة الأولى (7) .

في هذا البوق يرتفع ضغط الهواء من القيمة P إلى P`` ومن ثم يدخل المزيج البخاري إلى المكثف المساعد التابع للمرحلة الأولى (9) حيث يتكاثف فيه القسم الأكبر من أبخرة الماء .

يسحب المزيج الهوائي البخاري من مكثف المرحلة الأولى إلى البوق النفاث التابع للمرحلة الثانية (8) إذ يتم فيه رفع الضغط من P`` إلى قيمة الضغط الجوي أو أكثر ومن

ثم يدخل المزيج إلى المكثف المساعد (10) التابع للمرحلة الثانية ليتكاثف فيه الجزء المتبقي من البخار وينطلق الهواء المتبقي إلى الجو المحيط مباشرة .

يسحب السائل المتكاثف من المكثفات الثانوية عبر مصيدة البخار (11) وصمام عدم الرجوع (12) .

تتحدد انحرافات الإجراءات الحقيقية عن الإجراءات النظرية بسبب العمليات اللاعكوسة الحاصلة في البوق - الشكل (5 - 11) - .

تتألف العناصر الأساسية للجهاز من :

١- حجرة الدخول . ٢- بوق النفث .

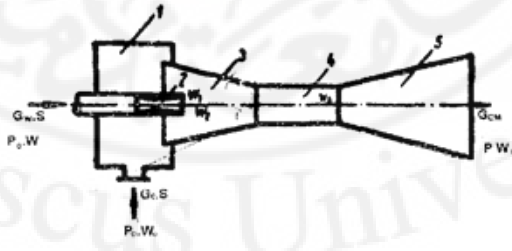
٣و٤- حجرة الخلط . ٥- الديفيوزر .

يتمتع البخار العامل $G_{W.S}$ القادم إلى البوق بسرعة ω وبنتيجة تمدد البخار ضمن الجهاز تتزايد سرعة البخار في مقطع الخروج إلى ω_1 (تتجاوز 1000 m / sec) .

يتم سحب البخار البارد القادم من المبخر $G_{c.s}$ بسرعة صغيرة ω_0 بالمقارنة مع سرعة البخار العامل.

نتيجة اختلاط تياري البخار العامل و البارد يمكن باتباع مبدأ انخفاض كمية الحركة لجزئي البخار كتابة المعادلة التالية:

$$\frac{G_{w.s}}{g}.\omega_1 + \frac{G_{c.s}}{g}.\omega_0 = \frac{G_{w.s} + G_{c.s}}{g}.\omega_2 \qquad (11 - 9)$$



الشكل (5 - 11) البوق النفاث

بإدخال المعامل φ_1 والذي يعبر عن ضياع الطاقة المركبة للبخار ضمن البوق نتيجة الاحتكاك يمكن الحصول على قيمة السرعة الفعلية للبخار المتمدد عند مقطع الخروج وفق العلاقة :

$$\omega_1 = \varphi_1 \cdot \omega_{1a} \qquad (11-10)$$

عادة يساوي المعامل φ: (0.96 .. 0.92) يمكن تحديد ضياع الحمل في البوق بالعلاقة :

$$\Delta w = w_a - w = 0.5\,\omega^2_{1a} - 0.5\,\omega^2_1$$

$$= (1 - \varphi^2_1)\,0.5\,\omega^2_{1a} = (1-\varphi^2_1)\cdot(i_1 - i_2)$$

من هنا نجد عمل التمدد بعد الأخذ بالحسبان للضياعات الاحتكاكية .

$$w = w_a - \Delta w = (i_1 - i_2) - (1 - \varphi^2_1)\cdot(i_1 - i_2) = \varphi^2_1 (i_1 - i_2) \qquad (11-11)$$

أو :

$$w = (i_1 - i_{2'}) \qquad (11-12)$$

بمساواة المعادلتين (11 - 11) و (11 - 12) يمكن تحديد قيمة انتالبي البخار $i_{2'}$ في نهاية إجراء التمدد الفعلي في البوق أي :

$$i_{2'} = i_1 - \varphi^2_1 (i_1 - i_2)$$

أو :

$$\varphi^2_1 = (i_1 - i_{2'}) / (i_1 - i_2)$$

يسمى المقدار φ^2_1 معامل العمل المفيد . باستخدام علاقة معامل القذف u وبإهمال السرعة الابتدائية للبخار العامل يمكن إعادة كتابة معادلة كمية الحركة على الشكل :

$$\omega_1 = (1 + u)\,\omega_2$$

أو :

$$\omega_2 = \omega_1 / (1 + u)$$

تكون السرعة الفعلية للبخار ω_3 ضمن حجرة المزج أخفض من القيمة المحسوبة ω_2 نتيجة للصدمة والمفاقيد الاحتكاكية بين تياري البخار الساخن و البارد .

يمكن وصف هذه المفاقيد بمعاملات مثل φ_2 و φ_3 تتعلق بسرعة وزاوية التقاء تياري البخار وبتصميم حجرة المزج والديفيوزر وبكمية الهواء الموجودة ضمن البخار .

مما سبق يمكن كتابة معادلة السرعة ω_3 على الشكل :

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 = \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \omega_1/(1+u)$$
$$\omega_3 = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \omega_{1a}/(1+u) \qquad (11\text{-}13)$$

يمكن التعبير عن تغير الانتالبي في حجرة المزج Δi_{st} بسبب ضياعات القدرة الحركية بالعلاقة:

$$\Delta i_{st} = 0.5\varpi^2 \quad 0.5(1+u)\varpi_3^2$$
$$= 0.5\varpi_1^2\left(1-\frac{\varphi_2^2.\varphi_3^2}{1+u}\right) \qquad (11\text{-}14)$$

باستعمال قوانين المزج يمكن حساب الانتالبي البخار في بداية إجراء الضغط ووفق العلاقة:

$$i_{2'} + \Delta i_{st} + u.i_9 = (1+u)\,i_3 \qquad (11\text{-}15)$$

في المعادلة (11 - 15) تعدّ النقطة 3 الممثلة لحالة البخار المزيج وليس النقطة 3` كما ذكر سابقاً – انظر الشكل (3 - 11) – حيث تؤخذ هذه الفرضية بالحسبان أثناء الحسابات فقط لأنه يكون من الصعب التحديد بدقة مقدار تزايد الضغط في الجزء المخروطي من حجرة المزج ومنه :

$$i_3 = \frac{i_{2'} + \Delta i_{st} + u.i_9}{1+u} \qquad (11\text{-}16)$$

تجري في الديفيوزر عملية تحويل الطاقة الحركية للتيار البخاري إلى طاقة كامنة مما يؤدي إلى رفع ضغط المزيج البخاري من P'_o إلى P وبسبب وجود مفاقيد احتكاكية فإن عملية الضغط هذه لاتتطابق مع إجراء الضغط الأديباتي .

يعبر عن مفاقيد العمل الاحتكاكية في الديفيوزر بالعلاقة التالية :

$$\Delta w' = w' - w'_a = 0.5\,\omega_2^2 - 0.5\,\omega_4^2 \qquad (11\text{-}17)$$

إذ :

ω_4 : سرعة تيار البخار عند مخرج الديفيوزر وتساوي:

$$\omega_4 = \varphi_4 \cdot \omega_3$$

φ_4 : معامل ضياع السرعة في الديفيوزر .

ومنه يمكن كتابة العلاقة (11 - 17) على الشكل :

$$\Delta w` = 0.5\ \omega_3^2 - 0.5\ \omega_4^2 = 0.5\ \omega_3^2 (1 - \varphi_4^2) \qquad (11 - 18)$$

يتحدد العمل في حالة إجراء الانضغاط الأديباتي بالعلاقة :

$$w_a = w - \Delta w` = 0.5\ \omega_3^2 - 0.5\ \omega_3^2 (1 - \varphi_4^2) \qquad (11 - 19)$$
$$= 0.5\ \varphi_4^2 . \omega_3^2 = I_{4`} - i_3$$

أما العمل في حالة إجراء الانضغاط البوليتروبي فيتحدد بالعلاقة :

$$w` = 0.5\ \omega_3^2 = ( i_{4`} - i_3) / \varphi_4^2 = i_4 - i_3 \qquad (11 - 20)$$

ومنه :

$$i_{4`} = 0.5\ \omega_3^2 + i_3 \qquad (11 - 21)$$

تتراوح قيمة المعامل φ_4 ضمن المجال (0.92 .. 0.88) وبشكل عام يمكن عدّه مساوياً قيمة 0.9 . بكتابة العلاقة مابين الطاقة الحركية للتيار البخاري القادم إلى الديفيوزر من حجرة المزج والعمل اللازم لضغط البخار في الديفيوزر يمكن الحصول على علاقة معامل القذف أي:

$$0.5\ \omega_3^2 = (i_{4`} - i_3) / \varphi_4^2$$

وبإدخال علاقة السرعة نحصل على :

$$\frac{\varphi_1^2 . \varphi_2^2 . \varphi_3^2 . \varpi_{1a}^2}{(1+u)^2} = \frac{i_{4`} - i_3}{\varphi_4^2}$$

أو :

$$\frac{\varphi_1^2 . \varphi_2^2 . \varphi_3^2}{(1+u)} (i_1 - i_2) = 1 + u \frac{i_{4`} - i_3}{\varphi_4^2}$$

من العلاقة الأخيره يحدد قيمة معامل القذف :

$$u = \varphi_1 . \varphi_2 . \varphi_3 . \varphi_4 \sqrt{\frac{i_1 - i_2}{i_{4`} - i_3}} - 1 \qquad (11 - 22)$$

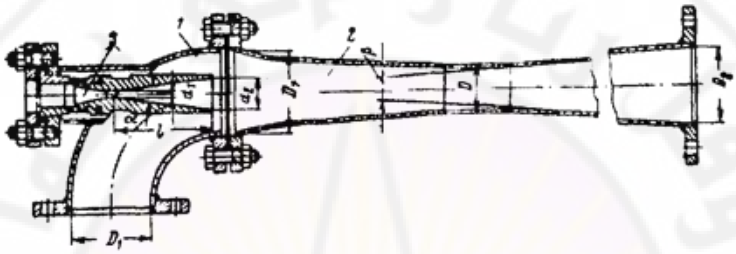
وعلى فرض أن جداء العوامل ($\varphi_1 . \varphi_2 . \varphi_3 . \varphi_4$) يمكن أن يأخذ قيمة تتراوح ضمن المجال (0.80 .. 0.65) يمكن تبسيط العلاقة (11 - 22) بكتابتها على الشكل

$$u = 0.75 \sqrt{\frac{i_1 - i_2}{i_{4`} - i_3}} - 1 \qquad (11 - 23)$$

3 - 11 - الحسابات الحرارية للعناصر الرئيسة في آلة التبريد القاذفة البخارية :

1 - 3 - 11 - القاذف الرئيس :

يبين الشكل (6 - 11) تصميماً لأحد نماذج أجهزة القذف .



الشكل (6 - 11) القاذف الرئيسي

يتألف الجهاز من حجرة الامتصاص 1 التي يتوضع بداخلها البوق 3 وحجرة المزج والديفيوزر 2 .

عند تركيب الجهاز من الضروري مراعاة تسامت الأجزاء المشكلة للجهاز كما يجب أن يدخل البخار القادم من المبخر إلى حجرة الامتصاص بشكل موازن للبخار العامل الخارج من البوق النفاث.

تصنع الأبواق النفاثة عادة من النحاس الأصفر أما الديفيوزرات فتصنع من الفولاذ غير القابل للصدأ.

عند تصميم البوق النفاث يجب تحديد المقاييس التالية :

مساحة العنق f_1 ، مساحة مقطع خروج النفاث f_2 ، مساحة عنق الديفيوزر F ، طول الجزء المتسع من البوق ℓ_c ، طول الديفيوزر ℓ_d .

لإنجاز حساب هذه الأبعاد يجب معرفة المقادير التالية :

$G_{w.s}$: كمية البخار العامل Kg / sec .

$G_{c.s}$: كمية البخار البارد Kg / sec .

P_k : ضغط البخار العامل قبل الدخول إلى البوق النفاث Pa .

v_1 : الحجم النوعي للبخار العامل قبل البوق m^3/kg

تتحدد مساحة عنق البوق النفاث بالعلاقة :

$$f_1 = \frac{G_{w.s}}{b \cdot \sqrt{\frac{P_k}{v_1}}} \quad (11 - 24)$$

إذ :

b = 1.99 : بالنسبة للبخار المشبع .

b = 2.09 : بالنسبة للبخار المحمص .

كما تتحدد مساحة مقطع خروج البوق بالعلاقة التالية :

$$f_2 = \frac{G_{w.s} \cdot v'_2}{\omega_2} \quad (11 - 25)$$

إذ :

v'_2 : الحجم النوعي للبخار في نهاية عملية التمدد البوليتروبي ويتحدد باستعمال المخططات الحرارية (i-s) , (T-s) .

ω_2 : سرعة البخار عند الخروج من البوق النفاث .

مع ملاحظة أن الضغط في نهاية عملية التمدد يؤخذ مساوياً للضغط P_0 في المبخر.

تتحدد مساحة عنق الديفيوزر بالعلاقة :

$$F = \frac{G_{w.s} + G_{s.s}}{b \cdot \sqrt{\frac{P}{v_4}}} \quad (11 - 26)$$

إذ : P , v_4 هما الضغط والحجم النوعي للبخار بعد عملية الانضغاط في الديفيوزر وعملياً بعد الضغط والحجم النوعي للبخار مساويين للضغط والحجم النوعي للبخار في المكثف الرئيس.

الثابت b يساوي إلى 1.99 .

يتم تحديد قطر عنق الديفيوزر D من خلال معرفة المقطع F والمحدد بالعلاقة (11 - 26) أما قطر مقطع الدخول إلى الديفيوزر D_1 فيؤخذ مساوياً قطر ماسورة حجرة

الامتصاص كما يحسب قطر مقطع الخروج من الديفيوزر D_2 انطلاقاً من السرعة المسموح بها للبخار (70 .. 90 m/sec) وذلك عند تدفق بخاري قدره $G_{w.s} + G_{c.s}$.

نحدد طول القسم المتسع من البوق بالعلاقة :

$$l_c = \frac{d_2 - d_1}{2.\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}} \qquad (11 - 27)$$

إذ تؤخذ الزاوية α ضمن المجال (^{o} 20 .. 6).

كما يتحدد طول الديفيوزر ℓ_d بالعلاقة :

$$l_d = \frac{D_2 - D_1}{2.\mathrm{tg}\frac{\beta}{2}} \qquad (11 - 28)$$

إذ تؤخذ الزاوية β ضمن المجال (^{o} 8 .. 6) .

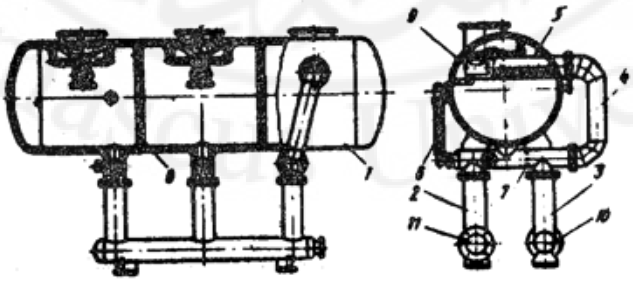
2 - 3 - 11 – المبخر :

يبين الشكل (7 - 11) تصميماً لأحد أنواع المبخرات حيث يتألف هذا المبخر من ثلاثة قطاعات مستقلة مما يعطي مرونة أكبر في تنظيم الإنتاجية التبريدية .

يمر عبر المبخر كامل كمية الماء العامل حيث يتبخر جزء صغير منه (1 .. 0.3) % على حساب تبريد كتلة الماء الأساسية .

يقسم هيكل المبخر 1 بحواجز إلى ثلاثة قطاعات إذ يستند هذا الهيكل إلى الدعامتين 2 , 3 واللتين تشكلان في الوقت نفسه مع الأكواع 4 صماماً هيدروليكياً .

مهمة المجمع 10 هي تجميع الماء الساخن القادم من المستهلك وإيصاله إلى أنبوبة التزذيذ 5 عبر الدعامات 3 والأكواع 4 .



الشكل (7 - 11) مبخر أفقي ثلاثي القطاعات

يتم تثقيب أنبوبة التزذيذ 5 بثقوب شطرنجية التوضع قطر الثقب الواحد 5 mm كما يحافظ على مستوى ثابت للماء ضمن الأنبوبة بوساطة ماسورة خاصة 9 يتحدد عدد الثقوب بحيث يكون تدفق الماء عبرها مساوياً ثلث الكمية الكاملة للماء العامل الدوار عبر المبخر .

يتم ضخ الماء العامل المبرد في المبخر بوساطة مضخة عبر العمود 2 والمجمع 11 .

مهمة الحاجز 7 هي فصل جهتي السحب والدفع للمبخر عن بعضهما .

يضاف إلى بنية المبخر أنبوبة قياس مستوى الماء 6 .

يجب عند حساب العناصر المختلفة للمبخر تحديد كمية البخار البارد $G_{c.s}$ الذي ينبغي سحبه من المبخر وكمية الماء العامل الدوار $G_{w.w}$ بالإضافة إلى تحديد أقطار مواسير الضخ والسحب وغير ذلك من المقاييس التصميمية .

تتحدد كمية البخار البارد المسحوبة من المبخر بالعلاقة التالية :

$$G_{c.s} = \frac{Q_o}{x.r_o + (t_o - t_{c.w}).c} \qquad (11 - 29)$$

إذ :

Q_o : الإنتاجية التبريدية للمبخر Watt .

r_o : الحرارة الكامنة لتشكل البخار عند ضغط التبخر Joul / kg .

t_o : درجة حرارة التبخر C^o .

$t_{c.w}$: درجة حرارة الماء البارد .

$x = 0.95$: كسر الجفاف المسموح به للبخار البارد .

c : السعة الحرارية للماء Joul / kg.^oC .

يمكن بمعرفة كسر جفاف البخار ودرجة حرارة التبخر t_o إيجاد الحجم النوعي للبخار البارد بوساطة الجداول أو المخططات الحرارية ومنه يتحدد حجم البخار البارد المسحوب من المبخر بالعلاقة :

$$V_{c.s} = G_{c.s} \cdot v_{c.s} \qquad (11 - 30)$$

إذ :

$$v_{c.s} = x \cdot v''_{c.s}$$

$v''_{c.s}$: الحجم النوعي للبخار البارد المشبع عند درجة حرارة t_o .

يتم تحديد مقاييس المبخر انطلاقاً من السرعة الوسطية المسموح بها للبخار والتي تؤخذ ضمن المجال (8 .. 17 m/Sec) حيث يتم حساب طول هيكل المبخر بعد معرفة نصف قطر الهيكل D وسرعة البخار $\omega_{c.s}$.

يحسب قطر ماسورة سحب البخار البارد من المبخر بالعلاقة التالية :

$$D_s = \sqrt{\frac{4.V_{c.s}}{\pi.\omega_{c.s}}} \qquad (11 - 31)$$

كما يمكن تحديد كمية الماء العامل ($G_{w.w}$ kg/Sec) الدائرة عبر المبخر بالعلاقة :

$$G_{w.w} = \frac{Q_o}{C.\Delta t_w} \qquad (11 - 32)$$

إذ : Δt_W فرق درجات الحرارة للماء العامل ما بين الدخول والخروج ويؤخذ عادة ضمن المجال (^oC 5 .. 3) .

في بعض الحالات الخاصة بتبريد المياه للاستخدامات الصناعية وعندما يكون مطلوباً عدم إعادة تدوير الماء العامل عبر المبخر تزداد قيمة Δt_W حتى (^oC 20 .. 15).

تستعمل عند مثل هذا الفرق الكبير لدرجات الحرارة مبخرات ذات تبريد متعدد المراحل إذ يتم حساب مجموعة الصمامات الهيدروليكية من أجل الفرق الأعظمي للضغوط بين المقاطع في المبخر المتعدد المراحل أو من أجل الفرق الأعظمي للضغوط في المكثف والمبخر في حالة المبخر الأحادي المرحلة .

3 - 3 - 11 – المكثفات :

يستعمل في آلات التبريد القاذفة البخارية نوعان رئيسان من المكثفات هما المكثفات الأفقية والمكثفات المزجية .

تتميز هذه المكثفات عن المكثفات المستخدمة في آلات التبريد ذات الضواغط التوربينية بأنها أصغر حجماً كما تتميز باختلاف شروط عملها عن شروط عمل الأخيرة إذ يمكن لهذه المكثفات العمل عند شروط ضغط منخفضة تقع في المجال 0.0016 .. 0.0098) (ميغا باسكال وفي الواقع العملي يكون ضغط التكاثف الفعلي للبخار ضمن المكثف أعلى قليلاً من قيمة ضغط الإشباع عند درجة الحرارة نفسها وذلك مرده وجود الهواء والغازات الأخرى غير القابلة للتكاثف ضمن المزيج البخاري .

يتحدد فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغارتمي في حالة المكثفات بالعلاقة :

$$\theta_m = \frac{\Delta t_w}{\ln \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}}} \qquad (11 - 33)$$

$$\Delta t_W = (i_S - i_K) / m \cdot c_w$$

i_S : انتالبي البخار .

t_k : درجة حرارة الماء المتكاثف .

t_{w1} : درجة حرارة دخول مياه التبريد .

t_{w2} : درجة حرارة خروج مياه التبريد .

$m = G_W / (G_{W.S} + G_{C.S})$: كمية مياه التبريد اللازمة لتكثيف 1 kg من البخار. بمعرفة المقدار Δt_W ودرجة حرارة دخول مياه التبريد t_{w1} .

نحدد قيمة درجة حرارة خروج مياه التبريد من العلاقة :

$$t_{w2} = t_{w1} + \Delta t_W \qquad (11 - 34)$$

تتحدد قيمة m عادة ضمن المجال (80 .. 160 kg_W/kg_S) وذلك بالنسبة للمكثفات الأفقية ويتم اختيار قيمة m المثالية وفق حسابات اقتصادية عمل آلة التبريد .

تقودنا حسابات المكثف كما هو الحال بالنسبة لأي مبادل حراري آخر إلى حساب سطح التبادل الحراري وفق العلاقة :

$$F = Q / (K . \theta_m) \qquad (11 - 35)$$

إذ

Q : الحمل الحراري للمكثف Watt . وتتحدد بالعلاقة :

$$Q = (G_{C.S} + G_{W.S}) . (i_S - i_K) \qquad (11 - 36)$$

K : معامل انتقال الحرارة ويتحدد وفق العلاقة التالية :

$$K = \beta_3 . K_o . \beta_q . \beta_t \qquad (11 - 37)$$

K_o : القيمة الفعلية لمعامل انتقال الحرارة مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة المياه المبردة.

β_q , β_t : معاملان يحددان تأثير قيمة حمل المكثف ودرجة الحرارة t_{w1} في معامل انتقال الحرارة .

β_3 : معامل يأخذ بالحسبان تأثير اتساخ سطوح التبادل الحراري .

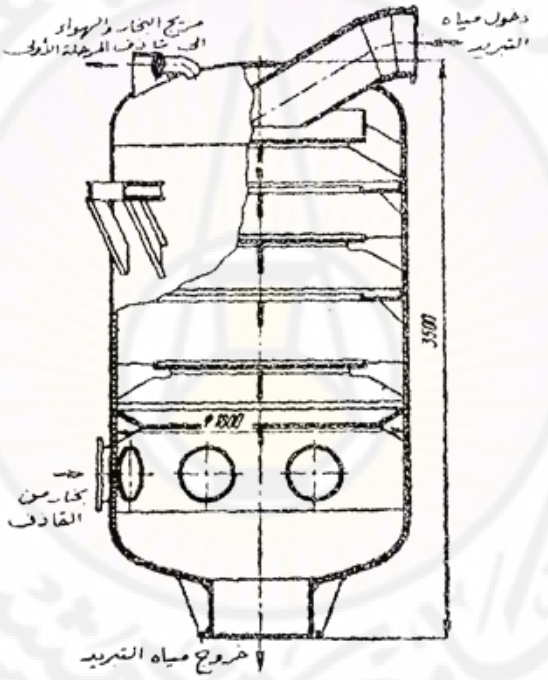
تتحدد كمية مياه التبريد اللازمة من العلاقة التالية :

$$G_W = m\,(G_{c.s} + G_{W.s}) \qquad (11 - 38)$$

يحسب سطح التبادل الحراري للمكثفات المساعدة بشكل مماثل وذلك انطلاقاً من كمية خليط البخار والهواء القادمة من القواذف المساعدة عند ذلك يجب الأخذ بالحسبان تأثير محتوى الهواء الكبير في قيمة معامل انتقال الحرارة .

تعدّ المكثفات المزجية أبسط من الناحية التصميمية من المكثفات الأفقية بسبب عدم وجود سطوح أنبوبية مبردة .

يبين الشكل (8 - 11) تصميم مكثف مزجي .



الشكل (8 - 11) مكثف من النوع المزجي

يصل البخار القادم من القاذف الرئيس إلى المكثف عبر المواسير المتوضعة في القسم السفلي للمكثف.

لدى دخول البخار إلى المكثف وحركته نحو الأعلى يصادف أحجبة مائية مشكلة من أطباق مثقبة ينساب الماء المبرد عليها من أعلى الجهاز حيث يؤدي ذلك إلى تكاثف البخار،

يتم سحب خليط الماء المتكاثف ومياه التبريد من أسفل الجهاز كما هو مبين في الشكل (11 - 8) .

تكمن أفضلية هذا النوع من المكثفات المزجية بأن التماس المباشر بين البخار ومياه التبريد في المكثفات المزجية يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة التكاثف لتصبح قريبة بشكل كبير من درجة الحرارة الوسطية لمياه التبريد مع الإشارة إلى أن مصروف مياه التبريد صغير نسبياً .

إن من بين العيوب الرئيسة لهذا النوع من المكثفات ضياع كمية الماء المتكاثفة ضمن مياه التبريد حيث لا يمكن الاستفادة منها من أجل تغذية المراجل المنتجة للبخار، إضافة إلى زيادة مصروف البخار اللازم في القواذف المساعدة بسبب كميات الهواء الكبيرة القادمة إلى المكثف مع مياه التبريد.

يمكن حسب مستوى توضع المكثف التمييز بين نوعين من المكثفات :

مكثفات المستوى المنخفض ومكثفات المستوى المرتفع .

تكون مكثفات النوع الأخير موضوعة على مستوى مرتفع إذ يمكن لخليط الماء المتكاثف ومياه التبريد أن يسيل تحت تأثير الثقالة دونما حاجة لاستخدام المضخات وبالتالي يتميز هذا النوع باقتصاديته من حيث توفير الطاقة مع التنويه إلى أن كمية الطاقة المصروفة في مضخات تغذية مياه التبريد تكون صغيرة نسبياً حيث يستفاد من وجود التخلخل ضمن المكثف من أجل سحب مياه التبريد .

مما سبق نرى بوضوح سبب انتشار المكثفات المزجية ذات الجريان الحر .

يتم حساب هذه المكثفات وفق التسلسل التالي :

كمية المياه المارة الهابطة عبر أطراف الطبق (الحاجز) :

$$G'_w = 2.95 \times \mu . b . \sqrt{h_1^3} \quad m^3/sec \qquad (11 - 39)$$

إذ :

μ : معامل المصروف ويساوي إلى (0.7 ..0.6)

b : محيط طرف الطبق m .

h_1 : ارتفاع الركيزة m . وتؤخذ عادة ضمن المجال (0.03 .. 0.02) .

إذا كان قطر هيكل المكثف أكبر من (600 mm .. 500) فيتم صنع الأطباق بشكل تسمح معه بجريان الماء عبر أطرافها إضافة إلى جريان الماء عبر الثقوب التي تتراوح أقطارها (15 mm .. 8) وفي هذه الحالة يحسب إجمالي مساحات الثقوب بالعلاقة التالية :

$$F = \frac{G''_w}{w.\varphi} \qquad (11 - 40)$$

إذ :

G''_w : كمية الماء المارة عبر ثقوب الطبق m^3/sec

ω : سرعة التدفق m/sec

$\varphi = 0.7$: معامل تضيق التيار .

تؤخذ عادة سرعة تدفق الماء عبر الثقوب ضمن المجال (1.5 .. 0.5 m^3/sec)

أما ارتفاع الضغط في الطبق ذي الثقوب فيتحدد بالعلاقة :

$$h = \omega^2 / (2.g) \qquad (11 - 41)$$

وبالتالي يساوي ارتفاع طرف الطبق:

$$h_2 = h - h_1 \qquad (11 - 42)$$

يتم ترتيب الثقوب بشكل مثلث متساوي الأضلاع ويتم حساب قطر أنبوبة تصريف الماء من المكثف على أساس أن سرعة الماء فيها تقع ضمن المجال (1 m/Sec .. 0.6)

يتحدد مصروف مياه التبريد في المكثفات بالعلاقة :

$$G_w = \frac{(G_{e.s} + G_{w.s})(i_k - c.t_{w2})}{c.(t_{w2} - t_{w1})} \qquad (11 - 42`)$$

يتم إيجاد درجة حرارة خروج مياه التبريد t_{w2} من المكثف من شروط كون $\tau_{w2} = t - \theta_m$

إذ t هي درجة حرارة التكاثف الموافقة للضغط في القاذف الرئيس .

θ_m : الضغط الحراري في المكثف ويساوي (1 .. 0.5 ^oC) .

i_k : انتالبي البخار عند الدخول إلى المكثف . Joul / kg.

c : السعة الحرارية للماء Joul / kg.^oC .

يتم إيجاد قطر هيكل المكثف انطلاقاً من سرعة البخار فيه التي تؤخذ عادة (12..15 m/sec) حيث لا يؤخذ بالحسبان تناقص المقطع بسبب وجود الأطباق .

يتحدد مقطع المكثف بالعلاقة :

$$F_k = \frac{\left(G_{c.s} + G_{w.s}\right).v_k}{W} \qquad (11 - 43)$$

إذ : v_k الحجم النوعي للبخار عند ضغط التكاثف m^3/kg .

يؤخذ عادة ارتفاع المكثف مساوياً (2 .. 2.5 m) كما يؤخذ عدد الأطباق من 4 إلى 6 حيث تساوي المسافة بين طبق وآخر (300 .. 400 mm) .

4 - 11 - أتمتة وتنظيم إنتاجية آلة التبريد القاذفة البخارية :

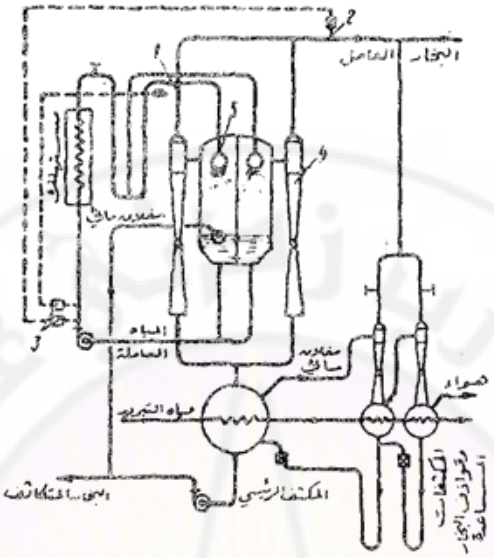
يتم التحكم بعمل آلة التبريد هذه بشكل جزئي حيث يتم تشغيل وإيقاف الآلة يدوياً أما عملية مراقبة القيادة والتنظيم والحماية وإعطاء الإشارات فتتم كلها بشكل آلي .

تتميز بشكل مبدئي طرائق تنظيم الإنتاجية لآلات التبريد القاذفة للبخار بتنظيم إنتاجية آلات التبريد المكبسية بإمكان تغير كمية الجسم العامل الدوار .

إن تخفيض كمية البخار في القواذف الرئيسة يمكن أن يؤدي إلى إيقاف عملها ولذلك يتم تنظيم الإنتاجية بإيقاف جزء من القواذف الرئيسة العامل دون تخفيض كمية البخار من القواذف العاملة .

إن أبسط مخططات تنظيم الإنتاجية هو المخطط الذي يتم بموجبه تقسيم المبخر إلى عدة فراغات – الشكل (9 - 11) – إذ يعمل كل قاذف رئيس 4 بالتوافق مع فراغه الخاص ضمن المبخر .

يتم تحديد فراغات المبخر 5 بشكل مستقل عن بعضها البعضاً داخل الهيكل باستخدام حواجز كتيمة، أما من الخارج (على مدخل ومخرج الماء العامل) فيتم استعمال حواجز مائية يتم المحافظة على درجة حرارة الماء العامل آلياً وذلك بوضع صمامات إغلاق كهرطيسية 2 , 1 تتلقى إشارة العمل من منظم درجات الحرارة 3 إذ يوضع العنصر الحساس لدرجة الحرارة على أنابيب توصيل الماء العامل عند مخرج المبخر .



الشكل (9 - 11) مخطط تنظيم إنتاجية التبريد

إن مهمة وسائل الحماية الآلية في الآلات القاذفة البخارية هي الوقاية ضد زيادة ضغط البخار العامل أما في حالة المكثفات الأفقية فهي تعمل بالإضافة إلى منع زيادة ضغط البخار العامل على منع زيادة ضغط التكاثف .

5 - 11 – خواص عمل آلات التبريد القاذفة البخارية عند عملها على أجسام عاملة مختلفة:

إن استعمال محاليل كلور الكالسيوم أو كلور الصوديوم في الماء يسمح بالحصول على قيم منخفضة لدرجة الحرارة ضمن المبخر إلا أنه عند درجات حرارة غليان في المبخر أخفض من ^{o}C 4- ودرجة حرارة مياه تبريد بحدود ^{o}C 20 يصبح بناء آلة التبريد أعقد كما يصبح من الضروري ضغط البخار الممتص من المبخر على مرحلتين وبالتالي تزداد لدينا المفاقيد الحاصلة والقدرة المصروفة.

مما سبق نرى أنه من المفيد في بعض الحالات استخدام أجسام عاملة أخرى في آلات التبريد القاذفة البخارية مثل غاز النشادر ، الفريون R-12 ، الفريون R-11 وغير ذلك من المواد .

في هذه الحالة يعمل المبخر كما لوكان يعمل في آلة تبريد مكبسية أما الجسم الحامل للحرارة فيدور بين المبخر والمستهلك .

إن أفضل استعمال لآلات التبريد القاذفة البخارية العاملة على الفريون R-12 هو استخدامها في حقل تكييف الهواء إذ تكون درجة حرارة غليان الفريون في مولد البخار غير مرتفعة – نحو 70°C درجة – مما يمكن من استخدام مصادر تسخين ذات درجة حرارة أخفض مما هي في حالة استخدام الماء .

إن استعمال الفريونات المختلفة أو غاز النشادر يسمح بالحصول على درجات حرارة أخفض ضمن المبخر وعلى سبيل المثال يمكن الوصول إلى درجة حرارة قدرها - 105 °C في المبخر وذلك عند استعمال الفريون R-22 دون الحاجة إلى استخدام طريقة تعدد المراحل .

تتميز آلات التبريد القاذفة البخارية العاملة على الفريون عن مثيلتها العاملة على بخار الماء بعدم وجود تخلخل كبير من المبخر عند العمل على درجات حرارة منخفضة بالإضافة إلى صغر القيمة المطلقة للمفاقيد المختلفة الناتجة عن الاحتكاك والصدم ... الخ .

كما أن الآلة الفريونية تعمل عند نسبة أقل لضغطي التبخر P_o و التكاثف P وأخيراً درجات حرارة غليان غير مرتفعة نسبياً في مولد البخار (تعادل 75 °C .. 70).

نلاحظ في آلات التبريد العاملة على الفريون أو النشادر انعدام الحاجة إلى وجود تجهيزات تفريغ الهواء وهذا يعدّ ميزة مهمة أيضاً .

مسألة :

احسب الدورة النظرية لآلة التبريد القاذفة البخارية العاملة على بخار الماء إذا علمت المعطيات التالية :

درجة حرارة خروج الماء البارد من المبخر $T_o = 280\ ^oK$

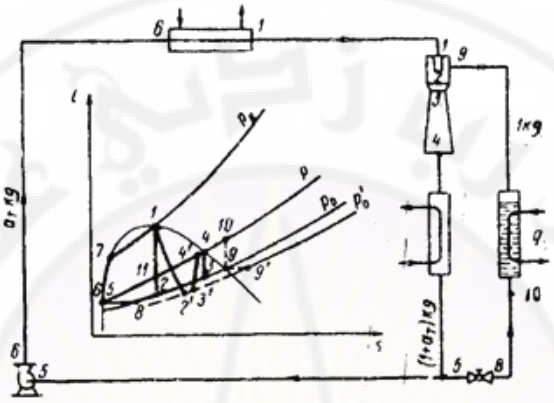
درجة حرارة تكاثف البخار $T = 303\ ^oK$

درجة حرارة الوسط المبرد $T_{o.c} = 298\ ^oK$

درجة حرارة غليان بخار الماء في مولد البخار $T_k = 433\ ^oK$

الحل :

يبين الشكل (a) مخطط الدورة النظرية للآلة ومنه يمكن تحديد البارمترات النقـاط الأساسـية المختلفة إذ نرتبها في الجدول التالي .



الشكل (a) تمثيل الدورة النظرية على مخطط (i - S)

قيم بارمترات النقاط الأساسية المختلفة للدورة النظرية للآلة

البارمترات	النقاط					
	1	2	3	4	5	6
P, MP_a	0.618	0.001	0.001	0.0042	0.0042	0.618
T, K^o	433	280	280	363	303	-
I, KJ/Kg	2757,7	1884,0	2375	2555,9	125,66	125,66
S, KJ/Kg.K	6,75	-	8,82	-	0,4365	0,4365

البارمترات	النقاط					
	6	7	8	9	10	11
P, MP_a	0.618	0.618	0.001	0.001	0.0042	0.0042
T, K^o	-	433	280	280	393	303
I, KJ/Kg	125,66	675,5	125,66	2513,9	2722	2030,0
S, KJ/Kg.K	0,4365	1,9415	-	8,975	-	-

- الاستطاعة التبريدية النوعية :

$$q_g = i_9 - i_8 = 2513.9 - 125.66 = 2388.24 \quad KJ/kg$$

- نسبة التوزيع النظرية :

$$\alpha_T = \frac{w_o}{w} = \frac{i_{10} - i_9}{(i_1 - i_{11}) - (i_6 - i_5)}$$

$$= \frac{2722 - 2513.9}{(2757.7 - 2030) - 0}$$

$$= 0.286$$

يحسب عمل المضخة كفرق الانتالبي $l_H = i_6 - i_5$

السائل غير قابل للانضغاط يكون فرق الانتالبي صغيراً جداً ويمكن إهماله .

في الحسابات العملية يحسب عمل المضخة من خلال تحديد الارتفاع الهيدروليكي h الذي تولده .

نحدد انتالبي النقطة 3 من قوانين المزيج حيث :

$$\alpha_T \cdot i_2 + i_9 = (1+\alpha_T).i_3$$

ومنه :

$$i_3 = \frac{0.286 \times 1884 + 2513.9}{1 + 0.286} = 2375 \quad KJ/kg$$

- كمية الحرارة المقدمة إلى وسيط التبريد في مولد البخار :

$$\alpha_T \cdot q_b = \alpha_T (i_1 - i_6)$$

$$= 0.286 (2757.7 - 125.66) = 752 \quad KJ/kg$$

- كمية الحرارة المطروحة من وسيط التبريد في المكثف :

$$(1+\alpha_T) \cdot q = (1+\alpha_T) \cdot (i_4 - i_5)$$

$$= (1+0.286).(2555.9 - 125.66) = 3130 \quad KJ/kg$$

أيضاً بتطبيق معادلة التوازن الحراري لآلة التبريد نجد :

المكثف		المبخر		المولد الحراري		المضخة
$(1+\alpha_T).q$	=	q_o	±	$\alpha_T.q_b$	±	$\alpha_T.q_h$
$(1+\alpha_T).q$	=	2388.24	±	752	±	0
	=	3140.24 KJ/kg				

- عامل التبريد للدورة العكوسية :

$$\varepsilon_T = q_o / w_o = 2388.24 / 208.1 = 11.5$$

- عامل المردود الترموديناميكي :

$$\eta_T = w / q_b = (i_1 - i_{11}) / (i_1 - i_6)$$

$$= (2757.7 - 2030) / (2757.7 - 125.66) = 0.276$$

- المردود الحراري للدورة النظرية :

$$\varepsilon_T = \varepsilon_T . \eta_T = 11.5 \times 0.276 = 3.14$$

أو :

$$\zeta_T = \frac{q_o}{\alpha_T . q_b} = \frac{i_9 - i_8}{\alpha_T (i_1 - i_6)} = 3.14$$

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني عشر

آلات التبريد الامتصاصية

مقدمة:

يكمن الفرق بين آلات التبريد الامتصاصية وآلات التبريد الضاغطة البخارية بأنه في آلات التبريد الامتصاصية يتم نقل الحرارة من الوسط المبرد ذي درجة الحرارة المنخفضة إلى الوسط الخارجي ذي درجة الحرارة المرتفعة بصرف طاقة حرارية، بينما يتم في آلات التبريد الضاغطة البخارية بصرف طاقة ميكانيكية.

بسبب اعتماد آلة التبريد الامتصاصية على الطاقة الحرارية انتشر استعمال هذا النوع من آلات التبريد في المنشآت الصناعية التي يوجد فيها فائض في الطاقة الحرارية.

في الوقت الحاضر انتشر استعمال هذا النوع من آلات التبريد العاملة على الأمونيا مع الماء، والماء مع بروميد الليثيوم.

إن استخدام دارة معينة لآلة التبريد الامتصاصية يتبع لنوعية المنبع الحراري بالإضافة إلى خواص المادة الماصة ووسيط التبريد المستخدمين.

1 - 12- مخطط ومبدأ عمل آلة التبريد الامتصاصية:

خلافاً لآلات التبريد الضاغطة البخارية التي تنجز فقط دورة ترموديناميكية عكسية، فإنه في الآلات الامتصاصية كما هو الحال في الآلات القاذفة للبخار يتم الحصول على التبريد الاصطناعي بمساعدة الدورتين المباشرة والعكسية معاً.

الإجراءات ودورات آلة التبريد الامتصاصية تتم بمساعدة محلول مؤلف من مركبين وأحياناً ثلاثة مركبات. إن الآلات الأكثر انتشاراً هي الآلات التي تعمل على محلول ثنائي والذي يتألف من مادة ماصة ووسيط تبريد. وأكثر المحاليل انتشاراً في الوقت الحاضر هي محلول الأمونيا مع الماء وكذلك محلول بروميد الليثيوم مع الماء. في الحالة الأولى تعدّ الأمونيا وسيط تبريد والماء مادة ماصة، أما في الحالة الثانية فيعدّ الماء وسيط تبريد وبروميد الليثيوم كمادة ماصة.

إذا كان محتوى وسيط التبريد في محلول الأمونيا مع الماء عالياً يسمى محلولاً قوياً (غنياً)، وإذا كان المحتوى قليلاً يسمى محلولاً ضعيفاً. في محلول بروميد الليثيوم مع الماء فإن التركيز يدل على محتوى المحلول من بروميد الليثيوم (أي المادة الماصة).

أهم المتطلبات الأساسية التي يجب أن تتمتع بها المادة الماصة هي التالية: أن ينحل فيها وسيط التبريد بشكل كامل وسريع، أن تكون درجة حرارة غليانها أكبر بكثير من درجة حرارة غليان وسيط التبريد.

إن الانحلال المحدود لوسيط التبريد في المادة الماصة يؤدي إلى التقليل من إمكان الدورة الترموديناميكية المباشرة في الآلة، كما أن التقليل من فرق درجتي حرارة الغليان الطبيعية للمادة الماصة ووسيط التبريد يجرِ وراءه ضرورة تعقيد مخطط الآلة ويؤدي إلى ضياعات إضافية لاعكوسة في الدورة الفعلية المباشرة. وبالتالي فكلما زاد الفرق بين درجتي حرارة الغليان المذكورتين يكون تصميم آلة التبريد الامتصاصية أبسط.

المخطط المبسط لآلة التبريد الامتصاصية ذات التأثير المستمر موضح على الشكل (1 - 12).

الآلة تعمل بالشكل التالي:

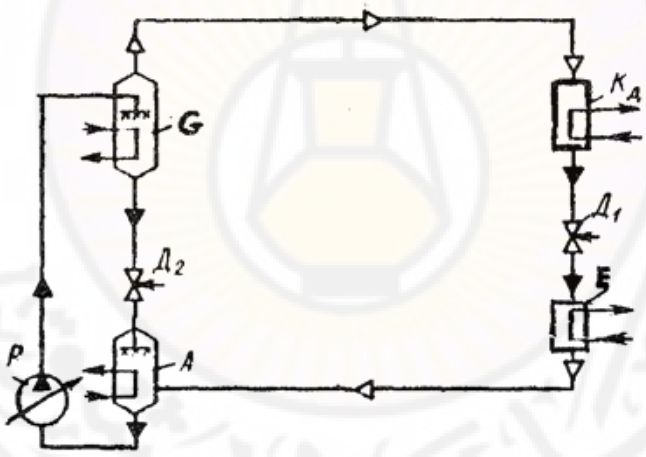
يتم في المولد غليان المحلول الغني (بوسيط التبريد) على حساب إعطاء حرارة Q_G من مصدر خارجي. يتم إجراء الغليان عند ضغط ثابت P_k وتناقص مستمر لتركيز المحلول وارتفاع درجة حرارة غليانه. البخار المتشكل من وسيط التبريد والمادة الماصة يدخل إلى المكثف حيث يتم تكثيفه نتيجة طرحه لكمية الحرارة Q_k إلى المصادر ذات درجة حرارة الوسط المحيط. إن تركيز البخار الداخل إلى المكثف يصبح أعلى بكثير من تركيز المحلول المغلي. تكاثف البخار في المكثف يتم عند ضغط P_k والذي يوافق درجة حرارة الخليط. عند ذلك إذا كانت درجات حرارة الغليان الطبيعية لوسيط التبريد والمادة الماصة مختلفة بشكل كبير (بمقدار 300°c - 200)، فإن البخار عملياً يتألف فقط من وسيط التبريد وأن تكاثفه يتم عند درجة حرارة ثابتة وبالتالي عند ضغط ثابت.

يخنق السائل الحاصل في المكثف في صمام التمدد الأول من الضغط P_k في المكثف إلى الضغط P_o في المبخر ويدخل إلى الأخير. يتعلق الضغط في المبخر بدرجة حرارة غليان وسيط التبريد، التي بدورها تتحدد بوساطة درجة حرارة المصدر المبرِّد.

بنتيجة إعطاء حرارة Q_o من المصدر المبرِّد إلى المبخر يتم غليان السائل. البخار المتشكل عند ذلك يدخل إلى وعاء الامتصاص.

يساق المحلول الضعيف (بوسيط التبريد) من المولد عبر صمام التمدد الثاني إلى وعاء الامتصاص. يتم في المولد الحفاظ على ضغط P_k وفي وعاء الامتصاص على ضغط P_o. وذلك لأن هذين الجهازين موصولان مع المكثف والمبخر على التوالي.

في وعاء الامتصاص يتم امتصاص البخار بوساطة المحلول الضعيف وبالنتيجة فإن التركيز يزداد حتى يصل إلى التركيز الأولي في إجراء الغليان في المبخر. يكون إجراء الامتصاص مصحوباً عادة بتولد (نشر) حرارة Q_a والتي تطرح إلى الوسط المحيط (ماء – هواء). يدفع المحلول الغني من وعاء الامتصاص بوساطة مضخة إلى المولد. بهذا الشكل تكتمل الدورتان المباشرة والعكسية ويتم عمل الآلة بشكل مستمر.



الشكل (1 - 12) المخطط المبسط لآلة التبريد الامتصاصية ذات التأثير المستمر

Г – مولد، k_D – مكثف E – مبخر، A – وعاء امتصاص، D_1 – صمام تنظيم وسيط التبريد، D_2 صمام تنظيم المحلول، P– مضخة المحلول

في آلة التبريد الامتصاصية وبمساعدة عناصرها الأساسية: المولد، صمام الخنق الثاني، وعاء الامتصاص، والمضخة تتحقق الدورة الترموديناميكية المباشرة، وبمساعدة المكثف، صمام الخنق الأول والمبخر تتحقق الدورة الترموديناميكية العكسية.

يمكن كتابة معادلة التوازن الحراري لآلة التبريد الامتصاصية البسيطة كالتالي:

$$Q_G + Q_o + Q_H = Q_k + Q_a \qquad (12\text{-}1)$$

إذ: Q_G – كمية الحرارة المعطاة للمولد من مصدر التسخين.

Q_o – كمية الحرارة المعطاة للمبخر من المصدر المبرد (الإنتاجية التبريدية للآلة).

Q_H – العمل المصروف في المضخة لدفع المحلول الغني من وعاء الامتصاص إلى المولد.

Q_k – الحرارة المطروحة في المكثف إلى مياه التبريد.

Q_a – الحرارة المطروحة في وعاء الامتصاص إلى مياه التبريد (الوسط المحيط).

تتحدد الفعالية الطاقية لدورات آلة التبريد الامتصاصية بوساطة معامل حراري، والذي هو نسبة الإنتاجية التبريدية إلى مجموع الحرارة المقدمة للمولد وعمل المضخة.

$$\zeta = \frac{Q_o}{Q_G + Q_H}$$

ونظراً لكون قيمة Q_H بالمقارنة مع Q_G قليلة جداً، لذا يمكن إهمالها. بالتالي فإن المعامل الحراري للآلة:

$$\zeta = \frac{Q_o}{Q_G} \qquad (12\text{-}2)$$

12 - 2 التبخر والتكاثف للمحاليل الثنائية:

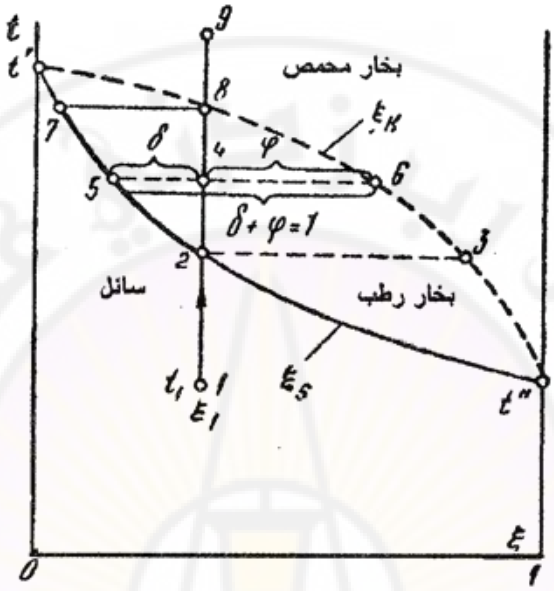
تختلف طبيعة هاتين العمليتين في كل من المحلول والمادة النقية.

١- مخطط t - ξ:

لتكن حالة المحلول في النقطة 1 هي (t_1, ξ_1) كما هو موضح على الشكل a. بتسخين المحلول السائل عند ضغط ثابت P فإن درجة حرارته تزداد حتى درجة حرارة الغليان t_2، وعندها تتشكل فقاعات البخار الأولى ويبدأ السائل بالغليان (الخط ξ_s، النقطة 2). تكون درجة حرارة السائل والبخار في هذه الحالة متساوية. ولكن تركيزاهما مختلفان بشكل ملحوظ لأن ξ_3 تصف تركيز البخار الموجود في حالة توازن مع السائل ذي التركيز $\xi_2 = \xi_1$.

بعد ذلك يصبح تركيز السائل ξ_5 (النقطة 5) وتركيز البخار ξ_6 (النقطة 6). وبالتالي فإن ξ_5 و ξ_6 يعدان التركيزان التوازنيان عند ضغط ثابت p ودرجة حرارة غليان $t_6 = t_5$. بمتابعة إعطاء الحرارة تتبخر آخر قطرات من السائل (النقطة 7) ويصبح تركيز البخار مساوياً التركيز البدائي للمزيج السائل $\xi_1 = \xi_8$. عند ذلك فإن قطرات السائل الأخيرة في النقطة 7 ذات التركيز ξ_7 ما تزال تعد مزيجاً. إذا استمر إعطاء الحرارة بعد ذلك فإن ذلك

يؤدي إلى تحميص البخار (النقطة 9) ويبقى تركيزه ثابتاً وتصبح خواصه مثل خواص المزيج الغازي.



الشكل a: مخطط t - ξ للمحلول (التبخر عند ضغط ثابت)

بوصل النقاط 2 و 5 و 7 نحصل على منحني الغليان ξ_s لمحلول السائل. أما المنحني الذي يصل النقاط 3و 6 و 8 فهو منحني التكاثف ξ_k (تساقط الندى).

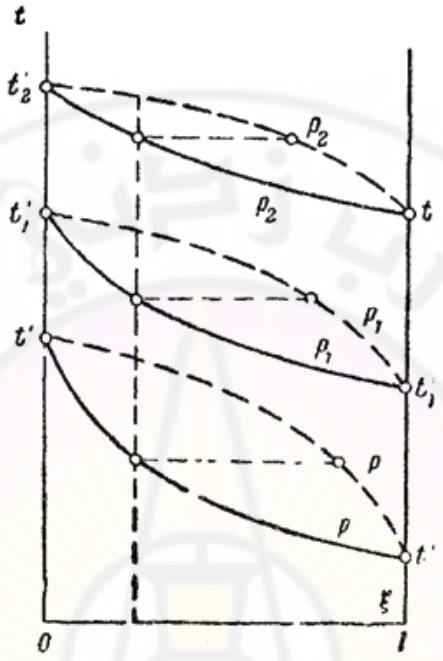
خطا غليان السائل وتساقط الندى للمادتين 1و 2 بحالتهما النقية يوافقان التركيزان ξ 1 = و 0 = ξ. وهذا يتوافق مع مفهوم الترموديناميك لأنه للمواد النقية لا يوجد فرق بين تركيزي البخار والسائل وإن t' و t'' توافقان درجتي حرارة الغليان عند الضغط المحدد.

منحنيا الغليان وتساقط الندى عند الضغوط p و p_1 و p_2 ممثلة في المخطط t-ξ (الشكل b).

يمكن تحديد الجزء المتبخر من المادة في كل لحظة من الشكل a (مثلاً عند $t_5 = t_4 = t_6$). إذا فرضنا أن كمية المادة 1 Kg فإن كمية المزيج المتبخر تشكل δ Kg/Kg وبالتالي فإن:

$$\delta + \varphi = 1 \qquad (a)$$

إذ φ – كمية السائل المتبقية.



الشكل (b): مخطط t - ξ للمحلول (التبخر عند ضغوط مختلفة)

كمية المادة 1 قبل بدء التبخر وخلال عملية التبخر يمكن أن تتغير ولذلك فإن:

$$\xi_1 = \xi_4 = \delta\xi_6 + \varphi\xi_5 \qquad (b)$$

باستخدام العلاقة (a) نجد:

$$\varphi = \frac{\xi_6 - \xi_4}{\xi_6 - \xi_5} \qquad \text{و} \qquad \delta = \frac{\xi_4 - \xi_5}{\xi_6 - \xi_5} \qquad (c)$$

من العلاقة (c) نجد أن النقطة 4 تقسم القطعة 6 - 5 بنسبة δ / φ (أنظر الشكل a). بهذا الشكل فإن درجة حرارة الغليان في المحاليل الثنائية تكون تابعة للضغط والتركيز، وذلك ما يميزها عن المواد النقية.

عملية تكاثف البخار المحمص تجري باتجاه معاكس (الشكل c). يبرد البخار المحمص من الحالة 1 عند تركيز ثابت حتى النقطة 2 (تساقط الندى)وتتشكل قطرات السائل الأولى بتركيز

ξ_3 (النقطة 3). عند متابعة التبريد فإن قيمة ξ تزداد (وفق منحني تساقط الندى) وتصل حتى القيمة الموافقة للنقطة 5. وبالتدريج فإن كامل البخار يتحول إلى سائل، وبالنهاية فإن تركيز السائل يصبح $\xi_7 = \xi_1$.

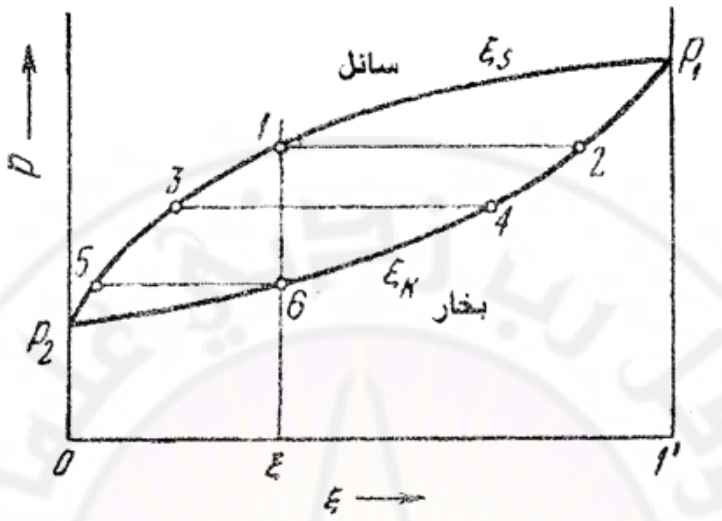
جزيئات البخار الأخيرة المتكاثفة تملك التركيز $\xi_8 = 1$.



الشكل (C) مخطط t - ξ (التكاثف عند ضغط ثابت)

2- مخطط p- ξ:

يوضح الشكل (d) هذا المخطط عند t = const. يصف المنحني العلوي خط الغليان. يبدأ المحلول ذو التركيز ξ_1 في النقطة 1. تحدد النقطة 2 التركيز التوازني للبخار ξ_2 المواف... لتركيز السائل ξ_1. وبهذا الطريقة نجد النقطة ξ_3 المقابلة لـ ξ_2. يصف المنحني السفلي خط التكاثف. يكون المحلول فوق خط الغليان بحالة سائلة وتحت خط التكاثف بحالة بخار. تمثل المساحة المحصورة بين المنحنين الحديين منطقة البخار الرطب.



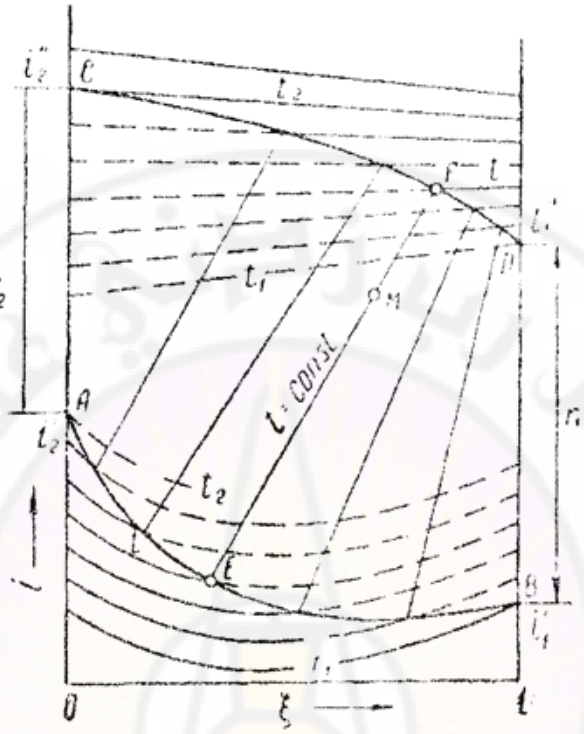
الشكل (d): مخطط p - ξ للمحلول

3- مخطط i - ξ:

يعد هذا المخطط بسيطاً ومريحاً للحسابات الفنية. نرى على المخطط (الشكل e) الخطوط الأيزوترميه للسائل والبخار لأجل تركيز محدد وعند p = const. تحدد المسافة بين أيزوترمي البخار والسائل لدرجة الحرارة نفسها قيمة حرارة التبخر r. باستخدام مخطط t - ξ (أنظر الشكل a) يمكن عند ضغط محدد p = const إنشاء منحنى الغليان AB على الشكل e. عند ذلك فإن t_1 تصف درجة حرارة غليان المركب 1 (ξ = 1)، و t_2تصف درجة حرارة غليان المركب 2 (ξ = 0). إذا وضعنا القيمة العددية للتبخر r_2 = AC للمركب 2 فوق النقطة A، فإن أيزوترم البخار t_2 = const يمر عبر C. تحدد النقطتان A و C انتالبي السائل المغلي i'_2 وانتالبي البخار المشبع الجاف i''_2 للمركب 2 عند الضغط المحدد p = const. يمكن حساب انتالبي البخار المحمص على أساس حرارته النوعية.

بشكل مشابه يمكن إيجاد r_1 = BD والنقطة D للمركب 1 (عند ξ = 1) عند p = const، عبر النقطة D يجب أن يمر إيزوترم البخار t_1 = const.

بتكرار هذه الطريقة عند ضغوط مختلفة يمكن إيجاد النقاط على المحورين ξ = 0 و ξ = 1 لأجل كل أيزوترم للبخار.



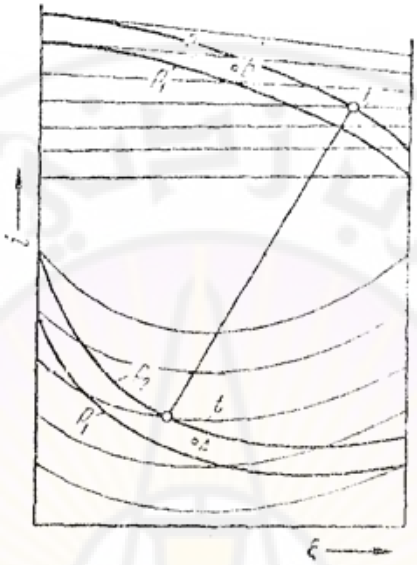
الشكل (c): مخطط I - ξ (خطوط الغليان والتكاثف والخطوط الإيزوترميه)

يمكن إنشاء منحني التكاثف CD على أساس معطيات مخطط I - ξ. توجد تحت منحني الغليان AB منطقة السائل غير المغل (مبَّرد)، أما فوق منحني التكاثف فتوجد منطقة البخار المحمص. وتتوضع بين هذين المنحنيين الحديين منطقة البخار الرطب للمزيج. عند ذلك فإن أيزوترم البخار الرطب EF يصل النقطة E (تقاطع أيزوترم السائل t مع منحني الغليان AB) مع F (تقاطع أيزوترم البخار t مع منحنى التكاثف CD).

باستخدام قاعدة المزج في النقطة M نجد نسبة الجزء السائل G_1 إلى الجزء البخاري G_2 كنسبة القطعة MF إلى القطعة ME.

مثلت على المخطط i - ξ (الشكل f) منحنيات البخار والتكاثف لأجل الضغطين p_1 و p_2. ويجب ملاحظة إن نقاط نقاط الحالة ليست ذات مدلول واحد. فمثلاً تصف النقطة A بالنسبة للضغط p_2 السائل المبَّرد، أما بالنسبة للضغط p_1 فتصف البخار الرطب. والنقطة B تحدد حالة البخار المحمص بالنسبة للضغط p_1 وحالة البخار الرطب بالنسبة للضغط p_2.

ايزوترمات السائل عملياً لا تتعلق بالضغط، أما أيزوترمات البخار فتختلف من ضغط إلى آخر.



الشكل (f): مخطط i - ξ

(خطوط الغليان والتكاثف والخطوط الأيزوترميه عند الضغوط p_1 و p_2)

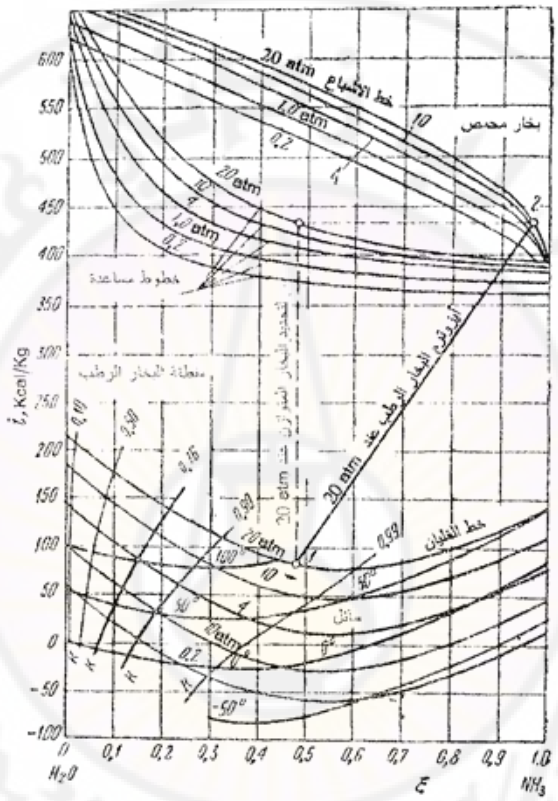
مخطط i - ξ الكامل لمزيج الأمونيا والماء ($H_2O + NH_3$) موضح على الشكل (g). تتوضع أيزوبارات البخار المشبع الجاف الكائنة في حالة توازن مع المحلول المغلي فوق أيزبارات المحلول المغلي لأن انتالبي البخار أكبر من انتالبي السائل بقيمة حرارة التبخر.

تركيز البخار المشبع الكائن في حالة توازن عند درجة الحرارة نفسها مع السائل يكون أكبر منه للأخير، ولذلك فإن الإيزوترمات تنزاح باتجاه اليمين.

توجد بين منحنيي السائل المغلي والبخار المشبع الجاف منطقة البخار الرطب. وتحت خط الغليان توجد أيزوترمات السائل المحلول.

تحدد أيزوترمات البخار الرطب عند ضغوط مختلفة باستخدام الخطوط المساعدة. فمثلاً يوجد أيزوترم البخار الرطب الموافق لحالة السائل في النقطة l بإنشاء شاقول حتى التقاطع مع المنحني المساعد، وبعد ذلك يرسم خط موازٍ لمحور السينات حتى التقاطع مع

أيزوبار البخار المشبع الجاف في النقطة 2. ويعد الخط 2-1 الأيزترم المطلوب. ويمكن ببساطة أيضاً تحديد التركيز التوازني للبخار بمساعدة المنحنيات المساعدة K.



الشكل (g): مخطط i - ξ للأمونيا مع الماء

3 - 12 - الحسابات الحرارية للإجراءات النظرية لمختلف مخططات آلات التبريد الامتصاصية:

1 - 3 - 12 - المخططات الترموديناميكية للمحاليل الثنائية:

لإجراء الحسابات الحرارية للآلة من الضروري قبل كل شيء تحديد بارامترات حالة المادة في نقاط مختلفة للدارات.

من أجل ذلك تستخدم مخططات ترموديناميكية مختلفة وجداول الحالة التوازنية لطوري البخار والسائل للمحلول بمساعدة المخططات الترموديناميكية يتبسط تحليل الإجراءات والدورات في المخططات المختلفة لآلات التبريد. بمساعدة هذه المخططات يمكن أيضاً إنجاز حساب الدارات بالطريقة التخطيطية.

توجد في الوقت الحاضر عدة مخططات لمحلول الأمونيا – الماء وهي:

التركيز –الانتروبي (s-ξ)، الانتروبي – درجة الحرارة (T-s)، الانتروبي – الانتالبي (s-i)، التركيز – درجة الحرارة (T - ξ)، درجة الحرارة – الضغط (T-logP)، التركيز – الانتالبي (i-ξ).

إضافة لذلك توجد لهذا المحلول جداول البارامترات الترموديناميكية لطوري التوازن عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفة.

أما بالنسبة لمحلول بروميد الليثيوم – الماء توجد المخططات التالية: التركيز – الانتالبي (i-ξ)، التركيز – الضغط (logP-ξ) والانتروبي – درجة الحرارة (T-s).

يمكن أن تتم الحسابات الحرارية لإجراءات آلة التبريد الامتصاصية بشكل أكثر بساطة بمساعدة مخطط (i-ξ)، أما التحليل الترموديناميكي لها فيتم بمساعدة المخططات الانتروبية.

2 - 3 - 12 – المخطط المبسط لآلة التبريد الامتصاصية:

تتم إجراءات التبادل الحراري والكتلي في المخطط المبسط لآلة التبريد الامتصاصية (الشكل 12-2-a) بمساعدة العناصر التالية:

المولد، المكثف، صمام تمدد وسيط التبريد، المبخر، صمام تمدد المحلول، وعاء الامتصاص ومضخة المحلول. مبدأ عمل الآلة تم شرحه في فقرة سابقة.

إن تحديد التيارات الحرارية الكلية والنوعية، والمعامل الحراري للآلة، والطاقة المصروفة في مضخة المحلول يعدّ مهمة أساسية للحساب النظري للإجراءات الحرارية.

النظام الحراري لعمل الآلة يحدد بثلاثة بارامترات مستقلة للمصادر الحرارية الخارجية: درجة الحرارة العليا لمصدر التسخين T_{h1}، ودرجة الحرارة الدنيا لمياه التبريد T_{w1} (درجة حرارة الوسط المحيط) ودرجة الحرارة الدنيا للمحلول المبرَّد T_{s2} (المصدر المبرِّد).

تحدد وفق درجات الحرارة المعطاة أو المصروفة للمصادر الخارجية بارامترات الطورين السائل والبخار للمحلول في نقاط الدارات وتمثل الإجراءات في مخطط ترموديناميكي، ولأجل ذلك تنجز العمليات التالية:

تحدد وفق درجة الحرارة T_{h1} درجة الحرارة العليا للمحلول في إجراء الغليان في المولد:

$$T_2 = T_{h1} - \Delta T$$

إذ: ΔT – الفرق بين درجتي حرارة المصدر المسخن والمحلول المغلي.

قيمة ΔT في أي من أجهزة الآلة تختار على أساس التحليل الفني – الاقتصادي، وذلك لأنه بقيمة ΔT تتعلق مساحة سطح النقل الحراري للجهاز والبارامترات الداخلية للدارات.

وفق قيمة T_{w1} تحدد درجة الحرارة T والضغط P_k للتكاثف في المكثف:

$$T = T_{w1} + \Delta T$$

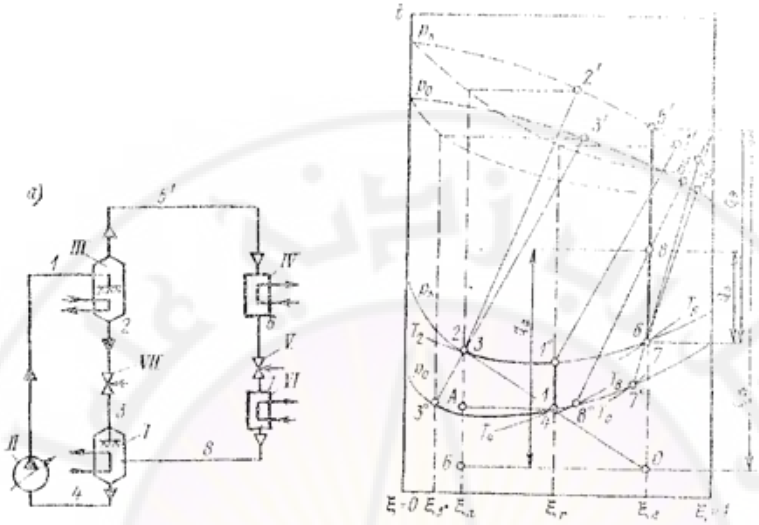
إذ: ΔT– الفرق بين درجتي حرارة تكاثف البخار والمياه المبرّدة.

الضغط P_k يؤخذ وفق الجداول الترموديناميكية للأمونيا النقية. في الشروط الفعلية لا تكون نتيجة التكاثف في المكثف وسيط تبريد نقي، بل وسيط تبريد ممزوجاً مع المادة الماصة، وبالتالي فإن ضغط التكاثف يكون أقل بعض الشيء. إن رفع ضغط التكاثف بعض الشيء يكون بغرض الاحتياط في الحساب وهذا لا يؤدي إلى الوقوع بالخطأ.

تحدد وفق قيمة T_{s2} درجة الحرارة الدنيا للغليان في المبخر:

$$T_o = T_{S2} - \Delta T$$

إذ: ΔT– الفرق بين درجة حرارة المصدر المبرّد ودرجة الحرارة الدنيا للغليان.



الشكل (2 - 12) آلة التبريد الامتصاصية المبسطة

a) مخطط الآلة b) الإجراءات في مخطط (i-ξ)

I- وعاء الامتصاص، II-مضخة المحلول، III- المولد، IV- المكثف،

V-صمام تمدد وسيط التبريد، VI- المبخر، VII- صمام تمدد المحلول.

يحدد وفق درجة الحرارة T_o والجداول ضغط بخار الأمونيا P'_o في المبخر. وطالما أنه يدخل إلى المبخر وسيط تبريد غير نقي بل يكون ممزوجاً مع المادة المانصة، لذا فإن الضغط الحسابي (التصميمي) للغليان يخفض بمقدار:

$$\Delta P_o = (0.01 \div 0.005)\, Mp_a$$

عندئذ فإن:

$$P_o = P'_o - \Delta P_o$$

وفق قيمة P_o تحدد درجة الحرارة العليا للغليان في المبخر:

$$T_8 = T_o + \Delta T$$

تتعلق القيمة $(T_8 - T_o)$ بالخصائص التصميمية للمبخر، وكذلك تركيز المحلول المغلي. كلما كان الجهاز أقل حجماً وتركيز المحلول أضعف كان الفرق أكبر.

تحدد وفق قيمة T_{w1} درجة الحرارة الدنيا للمحلول في إجراء الامتصاص في وعاء الامتصاص (عند مخرج الجهاز):

$$T_4 = T_{w1} + \Delta T$$

إذ ΔT- الفرق بين درجتي حرارة المحلول والمياه المبردة.

وفي حالة تغذية مياه التبريد بالتتالي للمكثف ولوعاء الامتصاص:

$$T_4 = T_{w2} + \Delta T$$

إذ T_{w2}- درجة حرارة الماء عند الخروج من المكثف.

بالنسبة لآلات التبريد الامتصاصية العاملة على محلول الماء - بروميد الليثيوم تكون القيم المطلقة للضغط في المكثف صغيرة ولذلك عند تغذية الماء بشكل متتال يساق في البداية إلى وعاء الامتصاص وبعد ذلك إلى المكثف. وعند ذلك نحصل على قيمة أكبر لفرق التركيز بين المحلولين الغني (القوي) والضعيف، وهذا ذو معنى كبير بالنسبة لآلات الماء - بروميد الليثيوم.

من أجل تبسيط الحسابات يمكن إهمال المقاومات في توصيلات الأنابيب ويؤخذ الضغط في المولد والمكثف متساوياً.

وكذلك يمكن أن يؤخذ الضغط في وعاء الامتصاص والمبخر بشكل متساو.

يمكن بتحديد درجات الحرارة والضغوط المذكورة أعلاه تمثيل الدورة في مخطط -ξ i وإيجاد جميع بارامترات حالة المحلول والبخار اللازمة لاستكمال الحسابات.

يحدد على المخطط الايزوبارين P_k و P_o لطوري البخار والسائل للمحلول (الشكلb - 2 - 12). بتقاطع الايزوترم T_4 في منطقة السائل مع خط الضغط P_o نجد حالة البخار الغني عند الخروج من وعاء الامتصاص. إذا أهملنا تغير انتالبي المحلول عند مروره عبر المضخة فإن حالته بعد المضخة (أي عند الدخول إلى المولد)، تحدد بالبارامترات T_4، ξ_r، i_4، P_k (النقطة 1).

يسخن السائل المبرَّد في حالة النقطة 1 في البداية في المولد على حساب إعطاء حرارة من مصدر خارجي حتى حالة التوازن الممثلة بالنقطة `1، وبعد ذلك يغلي عند ضغط P_k.

يتصف إجراء غليان المحلول في المولد (`1-2) بتغير بارامتراته من $\xi_r$، $T_1$`، i_1`، في بداية الإجراء إلى ξ_a، T_2، i_2 في النهاية.

تحدد النقطة 2 بتقاطع الايزوترم T_2 مع الايزوبار P_k.

البخار المتوازن مع السائل في النقطة `1 يوصف بالنقطة `1، أما البخار المتوازن مع السائل في النقطة 2 توصف حالته بالنقطة `2.

يمكن إيجاد النقطتين `1 و `2 بتقاطع الايزوتـرمين T_1 وT_2 فـي منطقـة البخـار الرطب مع الخط P_k للبخار المشبع الجاف.

يدخل البخار الخارج من المولد في حالة النقطة `5 إلى المكثف حيث يتكـاثف عنـد تركيز ثابت $\xi_d$ (الإجراء 6-`5) على حساب التبريد بوساطة الوسط المحيط (ماء التبريد).

السائل بعد المكثف يخنق حتى ضغط P_o وبحالة بخار رطب يدخل المحلـول إلـى المبخر. بما أن إجراء الخنق يتم بثبات الانتالبي، أي i=const، فإن النقطة 7 التي تعكس حالة البخار الرطب الحاصل في إجراء خنق السائل تنطبق على النقطة 6.

يتألف البخار الرطب عند ضغط P_o من سائل بحالة النقطة `7 وبخار مـشبع بحالـة النقطة `7 بضغط P_o ودرجة حرارة T_o.

تحدد النقطة `7 بتقاطع الايزوترم $T_{7^\circ} = T_o$ المار في مجال البخار الرطـب عبـر النقطة 7 مع الضغط P_o للبخار المشبع.

غليان السائل في المبخر عند ضغط P_o نتيجة أخذ الحرارة مـن المـصدر المبـرد يتصف بالإجراء (°8-°7)، عند ذلك فإن درجة حرارة الغليان تتغير من درجة أدنى T_o فـي بداية الإجراء إلى درجة أعلى في نهايته T_8.

حالة البخار المشبع في نهاية إجراء الغليان في المبخر (النقطة `8) توجـد بتقـاطع الايزوترم $T_8$ في مجال البخار الرطب مع الايزوبار $P_o$ للبخار المشبع. طالمـا أن المحلـول الذي يغلي في المبخر يكون ذا تركيز عال، لذا فإن حالة البخار المـشبع فـي بدايـة ونهايـة الإجراء (النقطتين `7 و `8) تكونان متطابقتين تقريباً، ولذلك يمكن تحديد حالة البخار الرطـب عند الخروج من المبخر مع بعض الخطأ بالنقطة 8، والحاصلة بتقاطع الايزوترم 8 بخط ثبات التركيز (ξ_d).

يمدد المحلول الضعيف بعد المولد في الحالة 2 حتى الضغط P_o ويدخل إلى وعـاء الامتصاص. بما أنه عند خنق المحلول يكون i=const، فإن $i_2 = i_3$، هذا يعني أن النقطـة 3 التي تعكس حالة البخار الرطب الحاصل بعد خنق السائل تنطبق على النقطة 2.

يتألف البخار الرطب عند ضغط P_o من سائل بحالة النقطة °3 وبخار مشبع بحالـة النقطة `3. إنشاء الايزوترم T_{3° يشبه إنشاء الايزوترم T_o في مجال البخار الرطب.

يتم في وعاء الامتصاص عند ضغط P_o امتصاص البخار بوسـاطة المحلـول فـي الإجراء (4-°3) بفضل تبريده بوساطة الوسط المحيط (مياه التبريد). عند ذلك فـإن ازديـاد

تركيز المحلول من ξ_{30} حتى ξ_a يتم على حساب امتصاص البخار المتشكل عند خنق المحلول، ومن ξ_a حتى ξ_r على حساب امتصاص البخار الرطب القادم من المبخر.

3 - 3 - 12 - الحساب الحراري للمخطط المبسط للآلة:

لنفرض أنه عند الإنتاجية التبريدية المحددة للآلة Q_o، (kw) يتكاثف في المكثف G، (kg/sec) من البخار أما إلى المولد يدخل F (kg/sec), من المحلول الغني. لذا فإن كمية المحلول الضعيف عند الخروج من المولد تكون (F-G)، كغ/ثا. هذه الكمية من المحلول تدخل إلى وعاء الامتصاص، حيث بنتيجة امتصاص G من البخار القادم من المبخر يتشكل F محلول غني. وكما ذكرنا أعلاه، إذا أهملنا الحرارة المكافئة لعمل المضخة فإن التوازن الحراري للآلة يكتب بالشكل:

$$Q_G + Q_o = Q_k + Q_a$$

التوازن الحراري منسوباً لـ 1kg من البخار المتكاثف في المكثف يمكن أن يكتب بالشكل:

$$q_G + q_o = q_k + q_a$$

إذ:

$$q_o = \frac{Q_o}{G}, kj/kg \quad ، \quad q_G = \frac{Q_G}{G}, kj/kg$$

$$q_k = \frac{Q_k}{G}, kj/kg \quad ، \quad q_a = \frac{Q_a}{G}, kj/kg$$

إذا تم نسب مصروف المحلول الدائر عبر وعاء الامتصاص والمولد إلى مصروف البخار المتكاثف في المكثف نحصل على نسبة التدوير (kg/kg).

$$f = \frac{F}{G} \qquad (12 - 3)$$

إن قيمة نسبة التدوير تدل على كمية المحلول الغني القادم إلى المولد والمقابل لكل 1kg من البخار المتكاثف في المكثف والقادم إلى المبخر.

التوازن الكتلي للمولد بالنسبة للأمونيا يمكن أن يكتب بالشكل:

$$f\xi_r = \xi_d + (f - 1)\,\xi_a$$

إذ: $f\xi_r$- كمية الأمونيا القادمة مع المحلول الغني.

ξ_d- كمية الأمونيا الخارجة مع 1kg من البخار.

ξ_a (f-1)- كمية الأمونيا الخارجة مع المحلول الفقير.

وبالتالي:

$$f-1=\frac{\xi_d-\zeta_r}{\xi_r-\zeta_a} \quad ، \quad f=\frac{\xi_d-\xi_a}{\xi_r-\xi_a} \qquad (12-4)$$

بمعرفة نسبة التدوير وبارامترات حالة المحلول والبخار في نقاط الدورة يمكن تحديد التيارات الحرارية النوعية في الأجهزة. بما أن الإجراءات في الأجهزة تتم عند ضغوط ثابتة، فإن كمية الحرارة المعطاة أو المطروحة توجد بفرق الانتالبي.

كمية الحرارة q_G المعطاة للمولد من مصدر تسخين خارجي تحدد بالشكل التالي: يدخل إلى المولد f كغ من المحلول الغني بانتالبي i_4، بالتالي فإن انتالبي المادة يساوي $f \cdot i_4$. إضافة إلى ذلك تقدم إلى المحلول كمية حرارة q_G من مصدر خارجي ويخرج من الجهاز في نهاية إجراء الغليان ١ كغ بخار بأنتالبي $i_{5'}$ و (f-1) كغ محلول ضعيف. بأنتالبي i_2.

مجموع انتالبي المادة الخارجة يساوي: $i_{5'} + (f-1)\, i_2$.

التوازن الحراري للجهاز:

$$q_G + f \cdot i_4 = i_{5'} + (f-1)\, i_2$$

ومنه: $$q_G = i_{5'} + (f-1)\, i_2 - f i_4$$

أو:

$$q_G = i_{5'} - i_2 + f\,(i_2 - i_4) \qquad (12\text{-}5)$$

في المبخر يغلي 1kg من المادة. كمية الحرارة المقدمة من المصدر الخارجي المبرِّد – يمكن أن تحدد بفرق انتالبي المادة عند الخروج من الجهاز وعند الدخول إليه.

$$q_o = i_8 - i_6 \qquad (12\text{-}6)$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف تحدد بفرق انتالبي المادة في بداية ونهاية إجراء التكاثف.

$$q_k = i_{5'} - i_6 \qquad (12\text{-}7)$$

يدخل إلى وعاء الامتصاص (f-1) كغ من المحلول الضعيف قادمة من المولد بانتالبي $(i_3 - i_2)$ و ١ كغ بخار رطب من المبخر بأنتالبي i_8. ويخرج من الجهاز f محلول غني بانتالبي i_4.

من الموازنة الحرارية للجهاز نجد:

$$q_a = i_8 - i_2 + f\,(i_2 - i_4) \qquad (12\text{-}8)$$

إن مضخة محلول الأمونيا – ماء تضخ f سائل من وعاء الامتصاص إلى المولد. بتحديد الحجم النوعي للمحلول يمكن حساب عمل المضخة.

$$q = v\, f\,(P_k - P_o) \qquad (12\text{-}9)$$

إن قيمة الحجم النوعي للمحلول (m^3/kg) توجد إما بوساطة الجداول وإما باستخدام العلاقة التالية:

$$v = 0.001 / (1 - 0.35\ \xi_r)$$

4 - 3 - 12- الحساب التخطيطي لآلة التبريد المبسطة:

يمكن حساب آلة الأمونيا – ماء الامتصاصية بالطريقة التخطيطية بمساعدة مخطط (i - ξ) كما هو مبين على الشكل (b - 2 - 12). من السهولة تحديد قيم q_o و q_k بالقطع (8-6 و (5`-6).

لتحديد q_G و q_a يجب إنشاء خط مستقيم عبر 2 و 4 حتى التقاطع في النقطة o مع خط $\xi_d = const$. من دراسة المثلثين (5-0-2) و (A-4-2) ينتج:

$$\frac{i_2 - i_o}{i_2 - i_4} = \frac{\xi_d - \xi_a}{\xi_r - \xi_a} = f$$

من هذه المساواة ينتج أن:

$$i_o = i_2 - f\,(i_2 - i_4)$$

الآن إذا طرحنا قيمة i_o من $i_{5'}$ نحصل على q_G.

$$i_{5'} - i_o = i_{5'} - i_2 + f(i_2 - i_4) = q_G$$

بشكل مشابه:

$$i_8 - i_o = i_8 - i_2 + f(i_2 - i_4) = q_a$$

حالة البخار الرطب عند الخروج من المبخر (النقطة 8) توجد من الإنشاء التالي والمبين على الشكل (3 - 12): عبر النقطة °8، التي تصف حالة السائل في نهاية إجراء الغليان في المبخر ينُشأ ايزوترم في مجال البخار الرطب، وتحدد النقطة 8 بتقاطع الايزوترم مع الخط $\xi_d = const$.

بغض النظر عن البساطة التي تبدو في إيجاد النقطة 8 في مخطط i-ξ، إلا أنه من الصعب تحديد وضعها بدقة كافية، لأنه للمحاليل ذات التركيز العالي تكون الايزوترمات في مجال البخار الرطب شاقولية تقريباً، ومن الصعب إيجاد نقطة تقاطعها مع خط التركيز الثابت. إضافة إلى ذلك فإنه للعديد من المحاليل الثنائية يوجد الطوران الغازي والسائل بشكل منفصل، لذلك يحدد انتالبي البخار الرطب في النقطة 8 تحليلياً.

لإيضاح ذلك ننشئ مثلثين (`8-A-8) و (`8-δ-°8)، من تشابه هذين المثلثين نجد التالي:

$$\frac{i_k - i_8}{\xi_k - \xi_d} = \frac{i_k - i_s}{\xi_k - \xi_s}$$

إذ الجزء الأيمن من المساواة هو ميل الايزوترم في مجال البخار الرطب.

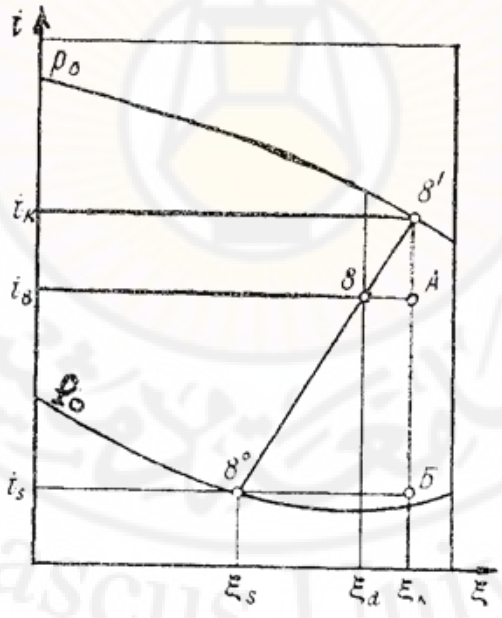
بأخذ الرمز: $\frac{\xi_k - \xi_s}{i_k - i_s} = K$

أو: $\frac{i_k - i_8}{\xi_k - \xi_d} = \frac{i_k - i_s}{\xi_k - \xi_s} = \frac{1}{K}$

وبحل المساواة الأخيرة بالنسبة لـ i_8 نحصل على:

$$i_8 = i_k - \frac{1}{k}(\xi_k - \xi_d) \qquad (12\text{-}10)$$

تعدّ قيمة K تابعة لدرجة الحرارة والضغط وتدرج في الجداول الترموديناميكية لمحلول الأمونيا ماء.



الشكل (3 - 12) تحديد حالة البخار الرطب

5 - 3 - 12- آلة التبريد الامتصاصية مع مبادل حراري:

إن الفعالية الترموديناميكية والطاقية لآلة التبريد الامتصاصية يمكن أن ترتفع بشكل ملموس بإدخال مبادل حراري استرجاعي في الدورتين المباشرة والعكسية لمخطط الآلة. في الدورة المباشرة للمخطط المبسط يخرج المحلول الغني من وعاء الامتصاص في حالة مبردة، ويملك درجة حرارة T_4 ويجب تسخينه بمصدر خارجي حتى درجة الحرارة T_{10}. أي حتى حالة التوازن الموافقة للضغط P_k قبل بدء إجراء الغليان. في الوقت نفسه فإن المحلول الساخن الضعيف القادم إلى وعاء الامتصاص من المولد، يجب أن يبرد بوساطة الوسط المحيط (بمياه التبريد) حتى حالة التوازن عند الضغط P_o وعند ذلك تصبح عنده المقدرة لامتصاص البخار من المبخر.

إن إدخال المبادل الحراري الاسترجاعي بين المحلولين الضعيف والغني يقلل من كمية الحرارة اللازم إعطاؤها للمولد من مصدر التسخين الخارجي، وكمية الحرارة المطروحة في وعاء الامتصاص إلى مياه التبريد، ويرفع قيمة المعامل الحراري للآلة.

يوضح الشكل (4 - 12) مخطط آلة مع مبادل حراري وإجراءاتهما في مخطط i-ξ للطور السائل للمحلول. يدخل إلى المبادل (f-1)kg من المحلول الضعيف من المولد بدرجة حرارة T_2 و f كغ محلول غني من وعاء الامتصاص بدرجة حرارة T_4. بنتيجة التبادل الحراري فإن درجة حرارة المحلول الضعيف عند الخروج من الجهاز في الحالة المثالية ستساوي T_4.

وبما أن سطح التبادل الحراري محدد (لا يمكن أن يكون لانهائياً) لذا:

$$T_3 = T_4 + \Delta T$$

بوضع التوازن الحراري للجهاز يمكن تحديد درجة حرارة المحلول T_1 على مخرج المبادل الحراري.

كمية الحرارة التي يطرحها المحلول الضعيف:

$$q_t' = (f-1)(i_2 - i_3) \qquad (12\text{-}11)$$

كمية الحرارة التي يكتسبها المحلول الغني:

$$q_t'' = f(i_1 - i_4) \qquad (12\text{-}12)$$

بما أنه في الحسابات النظرية لا تؤخذ بالحسبان الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط، لذا:

$$q_t' = q_t'' = q_t$$

وبالتالي:

$$i_1 = i_4 + \frac{q_t}{f} \qquad (12\text{-}13)$$

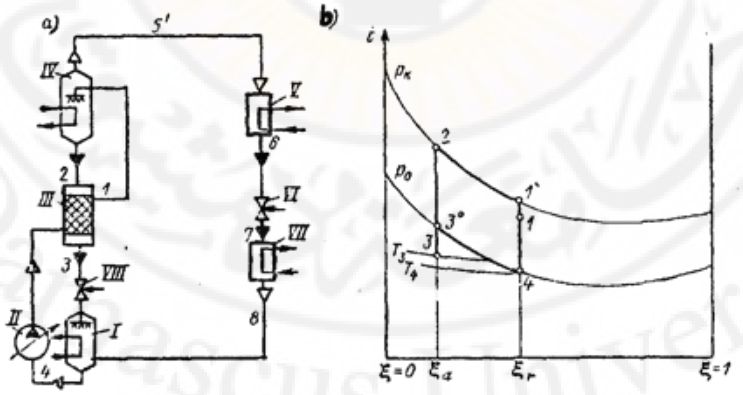
بهذا الشكل بمعرفة i_1 يمكن تحديد النقطة 1 على مخطط i-ξ والتي تصف حالة المحلول الغني عند الخروج من المبادل الحراري. إن هذا المحلول يمكن أن يكون مبرّداً، أو مشبعاً أو بحالة غليان. في الحالة الأخيرة يصنع المبادل الحراري تصميمياً من جزأين:

مبادل حراري سائلي ومبادل حراري لحالة الغليان المسبق. عندئذ فإن الحمولة الكلية على المبادل الحراري تتألف من الحمولة على المبادل الحراري السائلي $q_{t1} = f(i_{1'} - i_4)$ والحمل الحراري على مبادل الغليان المسبق $q_{t2} = f(i_1 - i_{1'})$.

يتم تحديد درجة حرارة البخار الرطب الخارج من مبادل الغليان المسبق بطريقة إنشاء منحني علاقة انتالبي بخار الماء بدرجة حرارته. لأجل ذلك من الضروري إعطاء عدة قيم لدرجة حرارة البخار الرطب وتحديد الانتالبي لكل منها حسب الصيغة التالية:

$$i = i_k - \frac{1}{k}(\xi_k - \xi_r)$$

إذ: i_k و ξ_k- انتالبي وتركيز البخار، $\frac{1}{k}$-ميل الايزوترم في مجال البخار الرطب.



الشكل (4 - 12) آلة تبريد امتصاصية مع مبادل حراري

a- مخطط الآلة، b- الإجراءات في إحداثيات i-ξ للطور السائل للمحلول

I- وعاء امتصاص، II- مضخة محلول، III مبادل حراري للمحاليل، IV- مولد، V- مكثف، VI- صمام تمدد وسيط التبريد، VII- مبخر، VIII- صمام تمدد المحلول.

بإنشاء منحني $i = \varphi(T)$ ومعرفة الانتالبي i_1 يمكن تحديد T_1.

في الآلة التي تحوي مبادلاً حرارياً تكون الأحمال الحرارية على المولد ووعاء الامتصاص أقل منها للآلة بدون مبادل حراري.

معادلة التوازن الحراري لمولد الآلة مع مبادل حراري:

$$q'_G = i_{5'} - i_2 + f(i_2 - i_1)$$

الفرق في قيم الحرارة للجهاز:

$$\Delta q_G = i_{5'} - i_2 + f(i_2 - i_4) - [i_{5'} - i_2 + f(i_2 - i_1)]$$
$$= f(i_1 - i_4) = q''_t$$

الموازنة الحرارية في وعاء الامتصاص:

$$q'_a = i_8 - i_3 + f(i_3 - i_4)$$

الفرق في قيم الحرارة للجهاز:

$$\Delta q_a = i_8 - i_2 + f(i_2 - i_4) - [i_8 - i_3 + f(i_3 - i_4)] = (f - 1)(i_2 - i_3) = q'_t$$

كما ذكرنا فإن إدخال المبادل الحراري في مخطط الآلة يرفع المعامل الحراري للآلة:

$$\zeta' = \frac{q_o}{q_G - \Delta q_G} > \zeta$$

6 - 3 - 12- آلة التبريد الامتصاصية المجهزة بمبادل حراري ومقطر بعد المولد:

يمكن التعبير عن فعالية الدورتين المباشرة والعكسية المختلطتين لآلة التبريد الامتصاصية بجداء معامل المردود النظري للدورة المباشرة ومعامل التبريد للدورة العكسية. زيادة قيمة معامل التبريد عند ثبات درجة حرارة المصدر المبرد يمكن أن تتم بتغذية المبخر بوسيط تبريد نقي. لذلك في الآلات الامتصاصية التي تستخدم مادة ماصة ووسيط تبريد الفرق بين درجتي حرارة غليانهما الطبيعية ليس كبيراً (مثلاً ماء وأمونيا) يتم إضافة جهاز تقطير للبخار القادم من المولد إلى المكثف بهدف زيادة تركيز وسيط التبريد الداخل إلى المكثف. وفي الوقت نفسه فإنه لتقطير البخار يجب تبريده، وهذا يؤدي إلى تخفيض فعالية الدورة المباشرة، لذلك عند تقييم المعامل العام لمجموعة الدورتين المشتركتين من الضروري الأخذ بالحسبان هاتين الحالتين.

يمكن زيادة تركيز البخار بإحدى الطرائق التالية:

١- بالماء.

٢- بوساطة المحلول الغني قبل دخوله إلى المبادل الحراري.

٣- بجزء من المحلول الغني المأخوذ من جوار المبادل الحراري إلى المقطر.

٤- بجزء من وسيط التبريد المأخوذ من المكثف إلى المقطر.

يمكن زيادة تركيز البخار من قيمة ما وسطية إلى تركيز التوازن مع المحلول الغني بطريقة تغذية المولد بمحلول غني من الأعلى بشكل معاكس لتيار البخار الخارج منه. هذا يتم في عمود التقطير الخاص. الجزء السفلي له مملوء بطبقة من الحلقات الخزفية الأسطوانية، أما في الجزء العلوي فتوضع صحون أو رفوف، حيث يتم تماس مباشر ما بين البخار القادم من المولد والمحلول الغني القادم من وعاء الامتصاص وهذا ما يؤدي إلى زيادة تركيز البخار الصاعد من المولد حتى يتوازن مع المحلول الغني.

يتم تقطير البخار بالماء في جهاز خاص يسمى الدفلكماتور أو الدفلكماتور المائي (وهو عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تبريد الأبخرة القادمة من المولد بتلامسها مع سطوح الأنابيب الباردة التي تتدفق بداخلها مياه التبريد). بنتيجة انخفاض درجة حرارة البخار يتكاثف جزء منه، غالباً ما تكون المادة الماصة (بسبب انخفاض درجة حرارة غليانها الطبيعية) والتي تعاد مرة أخرى إلى المولد إلى صحون التقطير، أما الجزء المتبقي من البخار فيتجه إلى المكثف بتركيز عال.

الشكل (5 - 12) يوضح مخطط آلة تبريد امتصاصية مجهزة بدفلكماتور ومبادل حراري بالإضافة إلى تمثيل الإجراءات على محاور ξ-i.

تحدد كمية المادة الماصة المعادة من الدفلكماتور إلى المولد من التوازن الكتلي للدفلكماتور.

إذا رمزنا لكمية المادة المعادة منسوبة لـ ١ كغ من البخار الخارج من الدفلكماتور بـ R، والى تركيز البخار عند مدخل الجهاز بـ ξ_1 وعند المخرج ξ_0، يمكن كتابة التوازن الكتلي بالشكل:

$$(1+R)\,\xi_{1'} = \xi_{0'} + R\xi_s$$

حيث: ξ_s- تركيز المادة المعادة المتوازنة مع البخار عند الخروج من الدفلكماتور.

وبالتالي:

$$R = \frac{\xi_{0'} - \xi_{1'}}{\xi_{1'} - \xi_s}$$

كمية المادة المعادة المتشكلة في الدفلكماتور قليلة جداً بالمقارنة مع البخار المار عبر الجهاز. وبما أن المادة المعادة تسيل بشكل معاكس لتيار البخار القادم وبما أن كميتها قليلة، لذا يمكن أن نعدّ التبادل الحراري بين البخار والمادة المعادة مثالياً ودرجة حرارة المادة المعادة الخارجة من الدفلكماتور تساوي درجة حرارة البخار القادم، لذا فإن تركيزها يكون متوازن مع حالة البخار في النقطة `1

ويساوي $\xi_{1'}$. بأخذ هذا الامر بالحسبان يمكن أن نكتب:

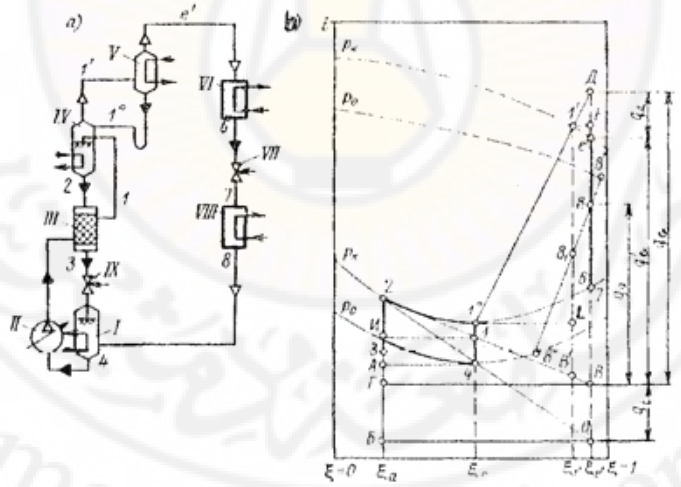
$$R = \frac{\xi_{e'} - \xi_{1'}}{\xi_{1'} - \xi_r} \qquad (12\text{-}14)$$

بوضع معادلة التوازن الحراري للدفلكماتور يمكن تحديد كمية الحرارة المطروحة إلى الماء في هذا الجهاز.

$$q_D = (1+R)i_{1'} - (i_{e'} + Ri_{1^\circ})$$

أو:

$$q_D = (1+R)i_{1'} - i_{e'} - Ri_{1^\circ}) \qquad (12\text{-}15)$$



الشكل (5 - 12) آلة التبريد الامتصاصية مع مبادل حراري ودفلكماتور

a- مخطط الآلة b- الإجراءات في مخطط i-ξ

I- وعاء امتصاص، II- مضخة محلول، III- مبادل حراري، IV- مولد، V- دفلكماتور، VI- مكثف، VII- صمام تمدد وسيط التبريد، VIII-مبخر، IX- صمام تمدد المحلول.

إن وجود المقطر المائي يزيد من الحمل الحراري للمولد. ويمكن التأكد من ذلك بوضع معادلة التوازن الحراري للمولد.

يدخل إلى المولد f كغ سائل بتركيز ξ_2 وانتالبي i_1 و R كغ مادة معادة بنفس التركيز السابق وانتالبي i_1. تعطى إلى المولد أيضاً حرارة q_{GD} من مصدر التسخين. في نهاية إجراء الغليان يخرج من المولد (f-1) كغ سائل بتركيز ξ_a وانتالبي i_2 و (1+R) كغ بخار بتركيز ξ_1 وانتالبي i_1.

من معادلة التوازن الحراري للجهاز نجد:

$$q_{GD} = (1+R)i_1 + (f-1)i_2 - fi_1 - Ri_1$$

أو:

$$q_{GD} = (1+R)i_1 - i_2 + (i_2 - i_1) - Ri_1$$

وبأخذ العلاقة (12-15) بالحسبان نحصل على:

$$q_{GD} = i_e - i_2 + f(i_2 - i_1) + q_D \qquad (12\text{-}16)$$

في الوقت نفسه إذا كان التقطير لا يتم بمساعدة الماء بل يقطر البخار في عمود تقطير المواد نفسه حتى تركيز ξ_1 المتوازن مع المحلول الغني، فإن الحمل الحراري على المولد يصبح أقل، أي أن:

$$q_D = i_1 - i_2 + f(i_2 - i_1) \qquad (12\text{-}17)$$

على الرغم من ذلك فإن التقطير بالماء يؤدي إلى زيادة المعامل الحراري للمجموعة نتيجة لازدياد الإنتاجية التبريدية النوعية أكثر بكثير بالمقارنة مع ازدياد الحمل الحراري على المولد.

في الصناعة لاقت استخداماً واسعاً آلات التبريد العاملة على الأمونيا – ماء التي يتم فيها تقطير البخار بالمحلول الغني قبل دخوله إلى المبادل الحراري. يبين الشكل (12 -6,a) مخططاً من هذا النوع. يُدفع المحلول الغني بوساطة مضخة إلى أنابيب التبادل الحراري المتعرجة للدفلكماتور إذ يسخن من درجة حرارة T_4 حتى درجة حرارة T_4'، مستقبلاً بذلك حرارة تقطير البخار q_D.انتالبي المحلول الغني على مخرج الدفلكماتور يمكن أن يحدد من معادلة التوازن الحراري للأخير:

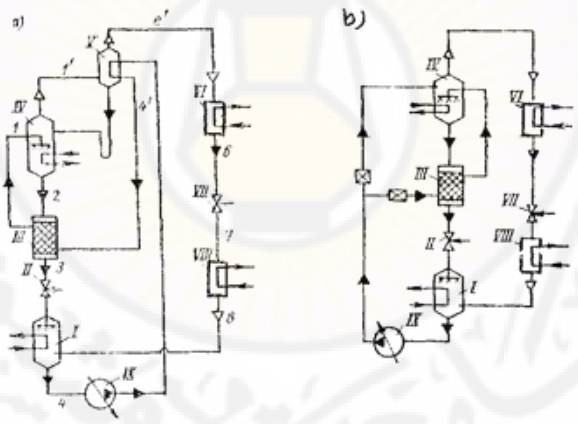
$$i_4' = i_4 + \frac{d_D}{f}$$

درجة الحرارة $T_{4'}$ تحدد من مخطط i-ξ بمعلومية الانثالبي $i_{4'}$ والتركيز ξ_r للمحلول الغني. طالما أن المحلول الغني يدخل إلى المبادل الحراري عند درجة حرارة أكبر $T_{4'}$، لـذا فإن الطاقة الحرارية للمحلول الضعيف على مخرج المبادل الحراري تحدد بالتركيز ξ_a ودرجة الحرارة T_3. درجة الحرارة T_3 تؤخذ حسب العلاقة:

$$T_3 = T_{4'} + \Delta T$$

وبالتالي سيدخل المحلول الضعيف إلى وعاء الامتصاص بدرجة حرارة أكبر ويزداد الحمل الحراري على وعاء الامتصاص بقيمة q_D.

بهذا الشكل فإن الحرارة الناتجة عن التقطير في مثل هذا المخطط بالرغم من أنهـا لا تطرح من الدورة المباشرة إلى الخارج، إلا أنها تحول في الدفلكماتور إلى مستوى ذي درجـة حرارة أخفض وتطرح في وعاء الامتصاص. عند ذلك تصرف في المولد كمية من الحـرارة مماثلة لكمية الحرارة التي تصرف في حالة استخدام المخطط المجهز بالتقطير المـائي، لـذلك فإن المخطط المدروس لا يتمتع بأفضلية ترموديناميكية تجاه المخطط الأول (التقطير بالماء).



الشكل (6 - 12)

a- آلة تبريد امتصاصية مع تقطير البخار بالمحلول الغني قبل دخوله إلى المبادل الحراري.

b- آلة تبريد امتصاصية مع تقطير البخار بجزء من المحلول الغني المأخوذ إلى المولد مـن جـوار المبـادل الحراري.

I- وعاء امتصاص، II- صمام تمدد المحلول، III- مبادل حراري للمحاليل، IV- مولد،

V- ديفلكماتور، VI- مكثف، VII- صمام تمدد وسيط التبريد، VIII- مبخر، IX- مضخة.

يجب محاولة استخدام طاقة المحلول الضعيف بشكل كامل، عند ذلك فإن استرجاع حرارة التقطير بقدر ما يمكن أن تتم في مخطط تقطير البخار بجزء من المحلول الغني المأخوذ إلى المقطر من جوار المبادل الحراري. إن مثل هذا المخطط موضح على الشكل (12 - 6,b).

في المخططات التي درست سابقاً يمر عبر المبادل الحراري محلولان غني وضعيف، لذلك يمكن دون التقليل من استخدام طاقة المحلول الضعيف أخذ جزء من المحلول الغني من جوار المبادل الحراري إلى المقطر، حيث يسخن باستقباله لحرارة التقطير ويعيد هذه الحرارة إلى الدورة المشتركة المباشرة. إذا كانت الحرارة النوعية للمحلولين الضعيف و الغني متساوية، فإن كمية الحرارة المطروحة من المحلول الضعيف لتسخين المحلول الغني وإيصاله حتى درجة الغليان يمكن أن تحدد من العلاقة:

$$q'_{tc} = (f - 1)(i_{2'} - i_3)$$

إذ: $i_{2'}$ – انتالبي المحلول الضعيف عند $T_{2'} = T_{1''} + \Delta T$.

من شروط التوازن الحراري للمبادل الحراري يمكن تحديد القيمة الأعظمية للمحلول الغني g التي يمكن أن تؤخذ إلى التقطير دون الإساءة إلى استعمال الطاقة الحرارية للمحلول الضعيف.

$$q'_{tc} = (f - g)(i_{1''} - i_4)$$

ومنه:

$$g = f - q'_{tc} / (i_{1''} - i_4)$$

كمية الحرارة الأعظمية التي يكتسبها المحلول الغني في إجراء التقطير $q_p = g(i_{1''} - i_4)$، نبدو أحياناً أقل من الحرارة المطروحة من المقطر. في مثل هذه الحالة تُدخل إلى مخطط الآلة عملية تقطير إضافية بوساطة مفطر مائي.

إن الحصول في إجراء التقطير على وسيط تبريد نقي وبالتالي بلوغ القيمة الأعظمية للإنتاجية التبريدية الكتلية ورفع المعامل الطاقي للآلة يمكن أن يتحقق في المخطط الذي يتم فيه تقطير البخار بجزء من وسيط التبريد السائل المأخوذ من المكثف. ان مثل هذا المخطط موضح على الشكل (7 - 12) وقد وجد انتشاراً واستخداماً واسعين في الوقت الأخير.

إذا افترضنا أن إجراء التبادل الحراري الكتلي بين البخار المار عبر صحون التقطير والسائل المأخوذ في المكثف كامل، فإن حالة البخار عند الخروج من المقطر يمكن أن تتمتع بالبارامترات التالية:

$$T_{e'} = T_6 \quad و \quad \xi_{e'} = 1.000 \frac{kg}{kg}$$

كمية السائل المأخوذة من المكثف من أجل التقطير $x = \frac{q_D}{q'_k}$.

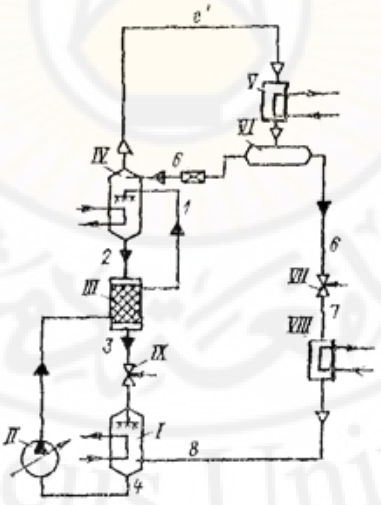
إذ: q'_k – حرارة التكاثف لـ 1kg من وسيط التبريد، $\frac{kj}{kg}$،

$$q'_k \quad = i_{e'} - i_6$$

الحرارة المطروحة في المكثف:

$$q_k = (1 + x)(i_{e'} - i_6)$$

من مساوئ هذا المخطط المدروس ضرورة وضع المكثف في مستوى أعلى من عمود التقطير في المولد أو تجهيز المخطط بمضخة لسائل وسيط التبريد لضخ جزء منه من المكثف إلى المقطر.



الشكل (7 - 12) آلة تبريد امتصاصية مع تقطير البخار بجزء من وسيط التبريد المأخوذ من المكثف.
I– وعاء امتصاص، II– مضخة محلول، III– مبادل حرارة، IV– مولد، V– مكثف، VI– خزان، VII– صمام تمدد وسيط التبريد، VIII– مبخر، IX– صمام تمدد المحلول.

7 - 3 - 12- الحساب التخطيطي لآلة التبريد الامتصاصية المجهزة بمبادل حراري ومقطر مائي:

بشكل مشابه للحساب التخطيطي لآلة التبريد المبسطة يمكن أيضاً إنجاز الحسابات بطريقة الإنشاء الهندسي في مخطط i-ξ. هذا الإنشاء موضح على الشكل (5,b - 12). بارامترات النقاط 6, e`, 1`, 1, 1°, 4, 2 و 8 تحدد على المخطط وفقاً للقيم المحددة للضغوط ودرجة الحرارة. بعد ذلك يقام عبر النقطتين 2 و 4 وعبر النقطتين 2 و 1 خطان مستقيمان حتى التقاطع مع خط const=$\xi_{e'}$ (النقطتين B و O)، يمدد الايزوترم $T_{1°}$ في منطقة البخار الرطب حتى التقاطع مع الخط const=$\xi_{e'}$ (النقطة D). بإنجاز الإنشاءات التخطيطية المذكورة يمكن تحديد حرارة أجهزة الآلة مباشرة من مخطط i-ξ طبقاً للقطع الموافقة. لشرح صحة تحديد حرارة الدفلكماتور بالقطعة $\overline{De'}$ ندرس المثلثين: (D-E-1`) و (1`- L -1°) من التشابه ينتج:

$$\frac{i_D - i_{1'}}{i_{1'} - i_{1°}} = \frac{\xi_{e'} - \xi_{1'}}{\xi_{1'} - \xi_r}$$

طبقاً للعلاقة (14-12) فإن الجزء الأيمن للعلاقة السابقة يصف كمية المادة المعادة R الحاصلة في الدفلكماتور. ومنه:

$$i_D - i_{1'} = R\,(i_{1'} - i_{1°})$$

إذا أضفنا إلى طرفي المعادلة القيمة $(i_{1'} - i_{e'})$ نحصل على علاقة حرارة الدفلكماتور:

$$i_D - i_{e'} = (1+R)i_{1'} - i_{e'} - Ri_{1°} = q_D = \overline{De'}$$

القطعة $\overline{DB}$ تبين حرارة المولد لآلة التبريد الامتصاصية المجهزة بدفلكماتور مائي، أما القطعة $\overline{1'B'}$ تمثل حرارة المولد عند تقطير البخار في عمود التقطير وعدم وجود التقطير بالماء. إن هذا الكلام يؤكد مرة ثانية بيانياً أنه عند تجهيز آلة التبريد الامتصاصية بدفلكماتور مائي فإن الطاقة الحرارية المقدمة إلى المولد تزداد.

8- 3 - 12- تغذية المحلول العكسية للمولد ووعاء الامتصاص:

تمر عبر المبادل الحراري كميتان مختلفتان للمحلولين الغني والضعيف. لذلك حتى ولو فرضنا أنه في المبادل الحراري يتم تبادل حراري مثالي، فإن فرق درجات الحرارة بين المحلولين يمكن أن ينعدم فقط في نهاية واحدة للجهاز، أي عند دخول المحلول الغني (النقطة 4 على الشكل 4 - 12) وعند خروج المحلول الضعيف (النقطة 3).

بهذا الشكل فإن إجراءات التبادل الحراري في المبادل الحراري تجري دائماً بشكل لاعكوس، وكلما ازدادت الحرارة q_t وكان فرق درجات الحرارة الوسطي بين المحلولين الغني والفقير أكبر ازدادت لاعكوسية الإجراءات في المبادل الحراري.

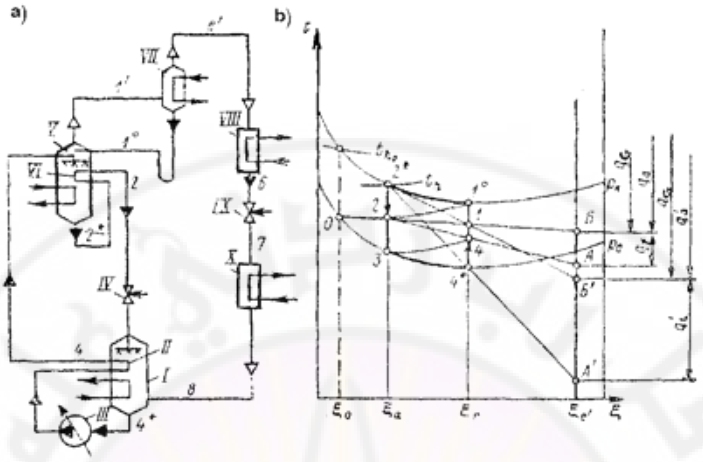
إن تخفيض الضياع في الدورة الترموديناميكية المباشرة يمكن أن يتحقق باستخدام تغذية المحلول العكسية عبر وعاء الامتصاص والمولد قبل دخول المحلولين الغني والضعيف إلى المبادل الحراري.مخطط الآلة ذات تغذية المحلول العكسية والإجراءات في مخطط i-ξ للطور السائل موضحة على الشكل (8 - 12).

عند مرور المحلول الغني عبر أنابيب التغذية العكسية لوعاء الامتصاص تصل درجة حرارته في الحالة المثالية إلى قيمة مساوية درجة حرارة المحلول الضعيف القادم إلى وعاء الامتصاص. عند ذلك لا تنقل حرارة المحلول الضعيف إلى الماء فحسب بل إلى المحلول الغني الذي يعود إلى المولد، وبالتالي بالقيمة نفسها تنخفض قيمة q_G.

من الإنشاء الممثل على الشكل (8,b - 12) في مخطط i-ξ نجد أنه عند التغذية العكسية عبر وعاء الامتصاص فإن النقطتين 3 و 4 تقعان على ايزوترم واحد والذي يتقاطع مع الايزوبار P_o في نقطة موافقة للتركيز ξ_a. النقطة δ المتوضعة على تقاطع المستقيم (1-2) مع ξ_a=const تُزاح إلى الأعلى، وبالتالي تنخفض قيمتي q_G و q_a بقيمة مساوية هذا الانزياح.

عند التغذية العكسية للمولد فإن المحلول الضعيف في الحالة المثالية يمكن أن يبرد حتى درجة الحرارة البدائية لإجراء الغليان $T_{1'}$. انخفاض النقطة 2 حتى تقاطع الايزوترم $T_{1'}$ مع ξ_a = const لا يغير وضع النقطة δ ، أي أنه لا يخفض قيمة q_G لكنه يخفض بشكل كبير حرارة المبادل الحراري q_t. إن انخفاض q_t يؤدي بدوره إلى تخفيض الضياعات اللاعكوسة في الدورة المباشرة المختلطة.

كلما كان الفرق ($\xi_{a'}$-ξ_a) أكبر كانت التغذية العكسية مناسبة أكثر. عند قيمة محددة للفرق المذكور تكون الحمولة على المبادل الحراري مساوية الصفر. عند ذلك فالنقطتان 2 و 3 تنطبقان على الايزوبار P_o، أما النقطتان 3 و 4 فتنطبقان على الايزوبار P_k والنقاط الأربع المذكورة كلها تقع على ايزوترم واحد.



الشكل (8 - 12) آلة تبريد امتصاصية مع تغذية عكسية للمحلول عبر وعاء الامتصاص والمولد.

a- مخطط الآلة b- الإجراءات في مخطط i-ξ للطور السائل

I- وعاء امتصاص، II- مبادل التغذية العكسية لوعاء الامتصاص، III- مضخة المحلول، IV- صمام تمدد المحلول، V- مولد، VI- مبادل التغذية الخلفية للمولد، VII- دفلكماتور، VIII- مكثف، IX- صمام تمدد وسيط التبريد، X- مكثف.

9 - 3 - 12- المبادل الحراري للبخار والسائل:

يمكن رفع الفعالية الترموديناميكية للدورة المشتركة العكسية بإدخال مبادل حراري للبخار والسائل في المخطط، والذي ينجز عملية تبادل حراري استرجاعي بين سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف والبخار الخارج من المبخر (الشكل 9 - 12).

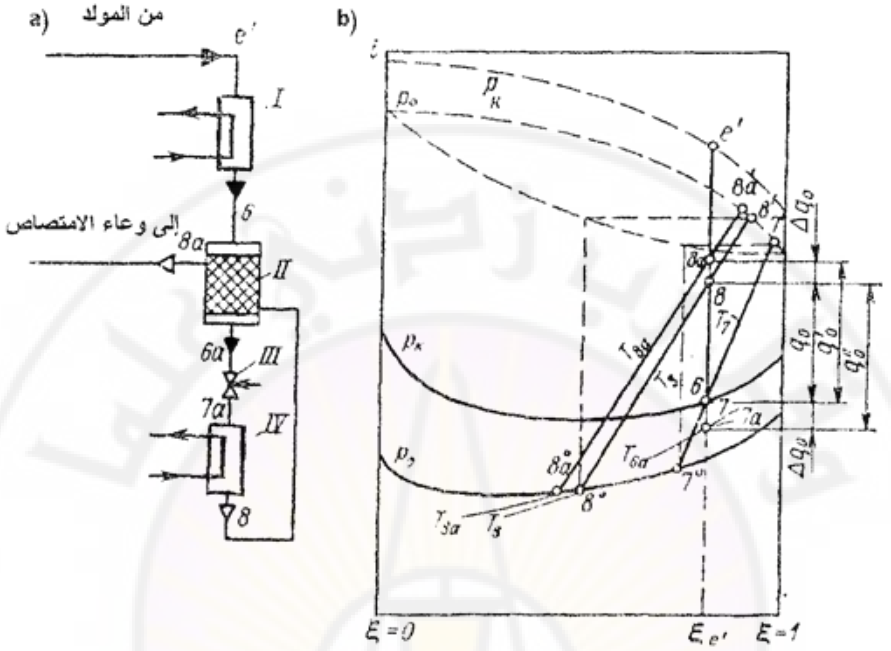
في هذا المبادل الحراري يبرد السائل من درجة الحرارة T_6 حتى درجة الحرارة T_{6a}، أما البخار يسخن من درجة الحرارة T_8 حتى درجة الحرارة T_{8a}.

يمكن تحديد ازدياد الإنتاجية التبريدية الكتلية النوعية بوساطة فرق الانتالبي في الإجراء.

$$\Delta q_o = i_6 - i_{6a} = i_{8a} - i_8$$

القيمة الجديدة للإنتاجية التبريدية الكتلية النوعية:

$$q'_o = q_o + \Delta q_o = i_8 - i_{6a} = i_{8a} - i_6 \qquad (12\text{-}18)$$



الشكل (9 - 12) مبادل حراري للبخار والسائل (بخار – سائل)

a– مخطط ربط المبادل، b– الإجراءات في مخطط i-ξ

I– مكثف، II– مبادل حراري، III صمام تمدد لوسيط التبريد، IV– مبخر

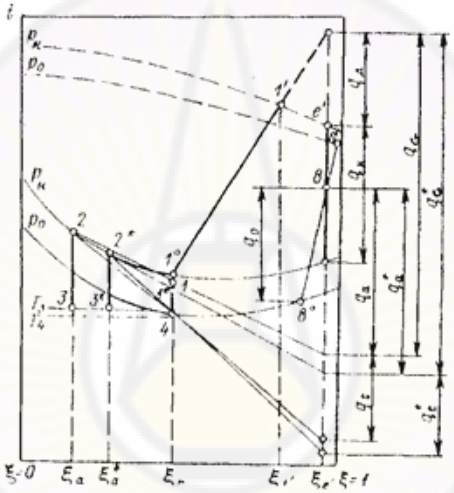
إن قيمة تبريد السائل في المبادل الحراري تتعلق بنسبة الحرارتين النوعيتين للبخار والسائل. في آلات التبريد الامتصاصية العاملة على الأمونيا–ماء، إذ $\frac{C_p}{C'} \approx 0.5$ يكون تبريد السائل أقل مرتين تقريباً من مقدار تسخين البخار القادم من المبخر.

4 - 12 - تأثير بارامترات المصادر الخارجية في إجراءات وفعالية آلات التبريد الامتصاصية:

درجة حرارة المصدر المسخِّن، المبرِّد (الوسط المحيط) والمصدر المبرَّد تبدي تأثيراً كبيراً في إجراءات آلات التبريد الامتصاصية، وإنتاجيتها والمعامل الطاقي لها. سوف نـدرس تأثير كل من هذه العوامل المذكورة على حده.

1 - 4 - 12- تأثير درجة حرارة المصدر المسخّن:

بانخفاض درجة حرارة المصدر المسخن تنخفض درجة الحرارة العليا للمحلول في نهاية إجراء الغليان في المولد. النقطة 2 التي تصف حالة هذا المحلول في مخطط i-ξ (الشكل 10 - 12) تنزاح إلى اليمين على الايزوبار P_k (النقطة *2)، يرتفع تركيز المحلول الضعيف ($\xi_{a*}>\xi_a$)، وبالتالي يقل فرق التركيز بين المحلولين الغني والضعيف في المولد ووعاء الامتصاص. هذا يؤدي إلى زيادة نسبة التدوير للمحلول، وزيادة حرارة المولد ووعاء الامتصاص، وبالتالي إلى انخفاض قيمة المعامل الحراري للآلة.



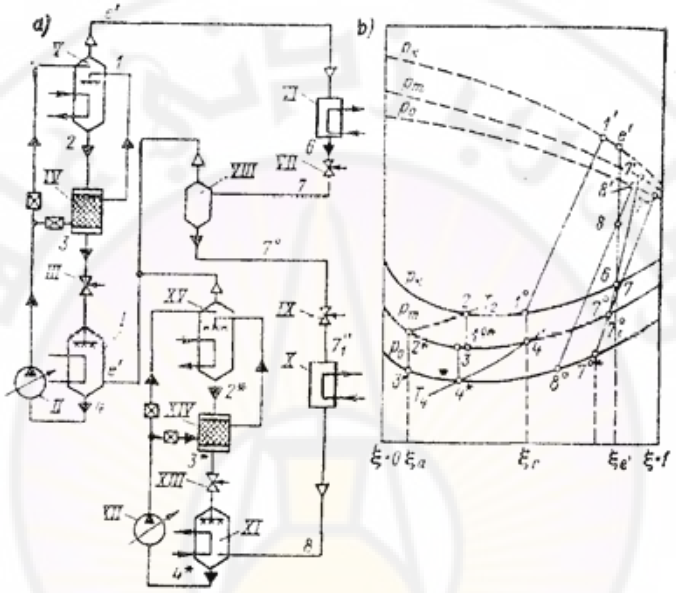
الشكل (10 - 12) تأثير انخفاض درجة حرارة المصدر المسخن على وضع نقاط دورات الآلة في مخطط i-ξ.

بمتابعة انخفاض درجة حرارة المصدر المسخن فإن فرق التركيز بين المحلولين الغني والضعيف (منطقة تشكل الغازات) يمكن أن يصبح قليلاً لدرجة عدم إمكان تحقيق الدورة المباشرة للآلة.

إن القيمة الأصغرية لفرق التركيز $\xi_a - \xi_r$ بالنسبة لآلات التبريد الامتصاصية العاملة الأمونيا – ماء في الإجراءات الفعلية يجب أن لا يكون أقل من 4%.

عند درجات الحرارة المنخفضة لمصدر التسخين فإن دورة آلة التبريد الامتصاصية يمكن أن تتحقق وفق مخططات أكثر تعقيداً، مثل مخطط آلة التبريد ذات المرحلتين، مخطط

إرجاع مادي، مخطط مع ضاغط انقباضي. مبدأ عمل آلة التبريد الامتصاصية بمرحلتين واضح من المخطط والإجراءات الممثلة، الشكل (11 - 12).



الشكل (11 - 12) آلة تبريد امتصاصية بمرحلتين

a- مخطط الآلة، b- الإجراءات في مخطط i-ξ

I، XI- أوعية الامتصاص، II، XII- مضختي المحلول، III، XIII- صمامات تمدد المحلول،

XIV، IV- مبادلات حرارية، V، XV- مولدات، VI_ مكثف،

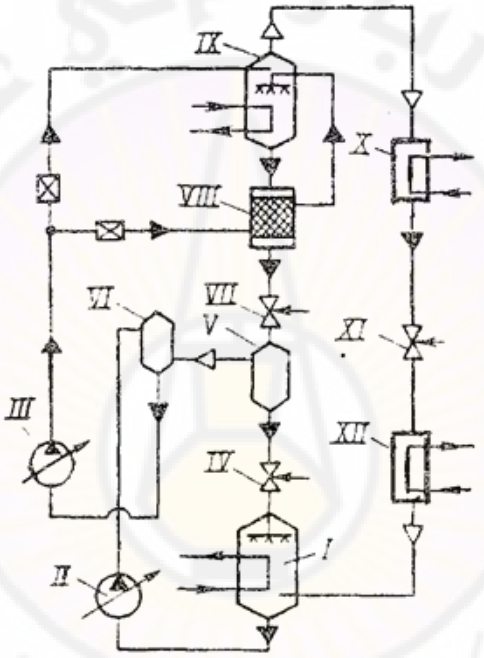
IX، VII- صمامات تمدد وسيط التبريد، VIII-فاصل سائل، X- مبخر.

إن تغذية المصدر الساخن للمولد وماء التبريد لوعائي الامتصاص في المرحلتين الأولى والثانية لآلة التبريد الامتصاصية ذات المرحلتين تتم بالتوازي، وتراعى مسألة تساوي درجات حرارة الغليان العليا في المولدين وتساوي درجات الحرارة الدنيا في وعائي الامتصاص، لكلتا المرحلتين.

تركيز البخار بعد التقطير في المرحلتين العلوية والسفلية، متساو. الحساب الحراري للآلة يتم لكل مرحلة ولا يختلف عن حساب المخططات ذات المرحلة الواحدة. الخصوصية

الوحيدة هي اختيار الضغط البيني P_m، الذي يتم اختياره من شروط المجموع الأصغري لحرارة المولدات، ولأجل ذلك تجرى عدة حسابات ويرسم منحني $\sum q_G = \varphi(P_m)$.

يمكن في آلات التبريد الامتصاصية ثنائية المراحل الحصول على درجة حرارة غليان في المبخر نحو $-70°c$ عند درجات حرارة محددة للمصدرين المسخّن والمبرّد. يمكن أيضاً أن تعمل الآلة على درجتي حرارة غليان.



الشكل (12 - 12) آلة التبريد الامتصاصية مع إرجاع مادي

I- وعاء امتصاص، II و III- مضخة محلول، IV، VII- صمامات تمدد المحلول، V- فاصل سائل، VI- مكثف، VIII- مبادل حراري، IX- مولد، X- مكثف، XI- صمام تمدد وسيط التبريد، XII- مبخر.

مخطط آلة التبريد الامتصاصية ذات الإرجاع المادي موضح على الشكل (12-12). في هذا المخطط يتم خنق المحلول الضعيف عدة مرات على الطريق بين المولد ووعاء الامتصاص، في البداية يتم الخنق حتى الضغط البيني وبعد ذلك حتى ضغط الغليان، وكذلك يتم دفع المحلول الغني على عدة مراحل على الطريق من وعاء الامتصاص وحتى المولد.

البخار المتشكل عند الخنق ينفصل عن المحلول الضعيف في فواصل السائل ويتم امتصاصه في المركزات بوساطة المحلول الغني. بهذا الشكل عند الخنق المتعدد المراحل

ينخفض تركيز المحلول الضعيف، أما تركيز المحلول الغني فيزداد حسب معدل ارتفاع الضغط. إن مثل هذا الإرجاع المادي يؤدي إلى اتساع منطقة تشكل الغازات للمحلول ويزداد إمكانية تحقيق الدورة المشتركة المباشرة عند درجة حرارة أقل للمصدر المسخن.

يمكن أيضاً توسيع منطقة تشكل الغازات بتجهيز مخطط آلة التبريد وحيدة المرحلة بضاغط انقباضي، الذي يركب على خط البخار إما بين المبخر ووعاء الامتصاص، وإما بين المولد والمكثف.

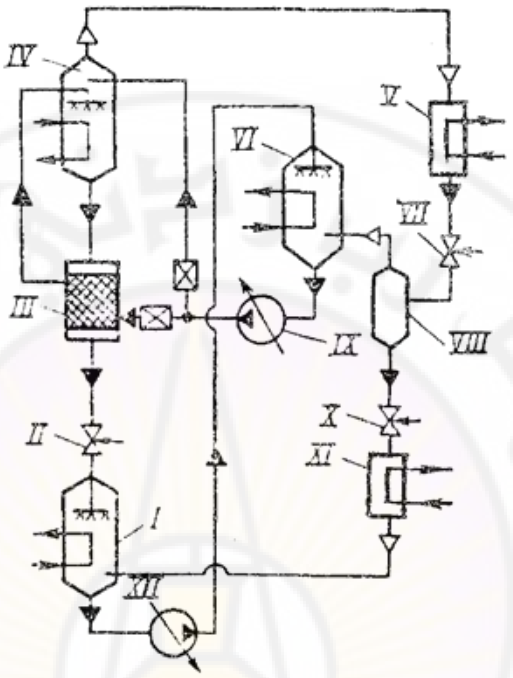
إن تحقيق الدورة المباشرة عند درجات الحرارة المنخفضة للمصدر المسخن يمكن أيضاً باستخدام الآلة المزودة بأوعية امتصاص مرحلية (بالشكل 13 - 12). مبدأ عمل هذه الآلة واضح من الشكل.

يؤخذ الضغط البيني إما من شروط المعامل الحراري الأعظمي، وإما وفق درجة حرارة الغليان البينية، وذلك لأن هذه الآلة يمكن أن تعمل عند درجتي حرارة غليان.

عند ارتفاع درجة حرارة المصدر المسخن وثبات درجة حرارة الوسط المبرّد ودرجة حرارة الوسط المبرّد ترتفع درجة الحرارة العليا للمحلول في إجراء الغليان في المولد (النقطة2). هذا يؤدي إلى التقليل من تركيز المحلول الضعيف $\xi_ض$ وزيادة فرق التركيز $\xi_ض - \xi_غ$. وبالتالي تقل نسبة التدوير وترتفع قيمة المعامل الحراري للآلة. عند درجات حرارة محددة للوسط المحيط والوسط المبرّد فإنه بمتابعة ارتفاع درجة حرارة المصدر المسخن نصل إلى حالة تصبح عندها درجة الحرارة العليا للمحلول الضعيف في وعاء الامتصاص (النقطة 3°) مساوية أو حتى أعلى من درجة حرارة بداية غليان المحلول الغني في المولد (النقطة 1°).

في هذه الحالة عندما $T_{3°} > T_{1°}$ يمكن تحقيق ما يسمى مبدأ تجاوز درجة الحرارة، أي أن قسماً من حرارة وعاء الامتصاص تستخدم لتسخين المولد. عملياً يمكن تحقيق مبدأ تجاوز درجة الحرارة بطريقة التغذية العكسية عبر المولد ووعاء الامتصاص (الشكل 8 - 12).

في حالة تجاوز درجة الحرارة $T_{3°}$ لدرجة الحرارة $T_{1°}$ بشكل كبير فإن المخطط الأكثر فعالية هو المبين على الشكل (14 - 12) في هذا المخطط يركب في المولد مبادلان حراريان: مبادل التغذية العكسية ومبادل تجاوز درجة الحرارة.

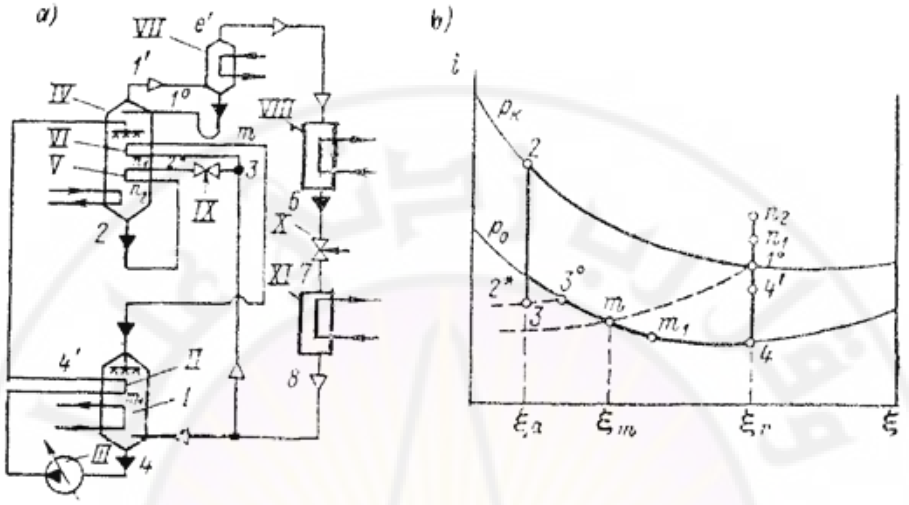


الشكل (13 - 12) آلة التبريد الامتصاصية مع وعاء امتصاص مرحلي

I، VI- أوعية امتصاص، II-صمام تمدد المحلول، III- مبادل حراري، IV- مولد، V- مكثف، VII، X- صمام تمدد وسيط التبريد، VIII- فاصل سائل. IX، XII- مضخات المحلول، XI- مبخر.

يتجه المحلول الضعيف الساخن من المولد إلى مبادل التغذية العكسية، إذ بإعطائه الحرارة للمحلول الغني في إجراء غليانه على الجزء (n_1-n_2)، يبرد من درجة الحرارة T_2 حتى درجة الحرارة T_{2*}، بعد ذلك يخنق ويوجه إلى مبادل تجاوز درجة الحرارة، وفي هذا المبادل يمتص البخار القادم من المبخر. الحرارة المتولدة في إجراء الامتصاص على الجزء (3-m) تصرف على غليان المحلول في المولد بالإجراء $(4`-n_1)$.

يوجه المحلول الضعيف بعد المولد إلى وعاء الامتصاص وباستمراره بامتصاص البخار تنخفض درجة حرارته من T_m حتى T_4. المحلول الغني بدرجة حرارة T_4 يدفع بوساطة مضخة إلى مبادل التغذية العكسية لوعاء الامتصاص، وفيه يسخن حتى درجة حرارة $T_{4`}$.



الشكل (14 - 12) آلة التبريد الامتصاصية مع تجاوز درجة الحرارة

a- مخطط الآلة، b- الإجراءات في مخطط (i-ξ)

I- وعاء امتصاص، II -مبادل التغذية العكسية لوعاء الامتصاص، III- مضخة المحلول، IV- مولد، V- مبادل التغذية العكسية للمولد، VI- مبادل تجاوز درجة الحرارة، VII- دفلكماتور، VIII- مكثف، IX- صمام تمدد المحلول، X- صمام تمدد وسيط التبريد، XI-مبخر.

2 - 4 - 12- تأثير درجة حرارة الوسط المبرّد:

بانخفاض درجة حرارة الوسط المبرد (ماء ، هواء خارجي) تنخفض درجة حرارة وضغط التكاثف في المكثف وبالتالي الضغط في المولد. عند ثبات درجة حرارة المصدر المسخن يمكن الحصول في نهاية الغليان في المولد على محلول ذي تركيز أقل وأضعف، وأما عند ثبات التركيز يستخدم مصدر مسخن بدرجة حرارة أقل.

إن التغذية بماء أكثر برودة من أجل تبريد وعاء الامتصاص يؤدي إلى ارتفاع تركيز المحلول الغني. بهذا الشكل فإن تخفيض درجة حرارة الوسط المحيط يزيد فرق التركيز بين المحلولين الغني والضعيف، ويقلل نسبة التدوير، ويرفع فعالية الدورات المشتركة، ويمكن أن يؤدي إلى تحقيق الدورات مع تجاوز درجة الحرارة.

ارتفاع درجة حرارة الوسط المبرد يؤدي إلى ارتفاع الضغط في المكثف والمولد، وانخفاض تركيز المحلول الغني، وارتفاع تركيز المحلول الضعيف.

في العديد من الحالات عند درجة حرارة مرتفعة للوسط المبرد ودرجة حرارة منخفضة نسبياً للمصدر المسخن فإن فرق التركيز $\xi_i - \xi_{i'}$ يصبح قليلاً لدرجة لا يمكن عنده تحقيق الدورة المباشرة للآلة، ويتطلب الأمر عند ذلك الانتقال إلى مخطط ثنائي المراحل أو مخططات أخرى للآلة.

3 - 4 - 12 - تأثير درجة حرارة الوسط المبرّد:

بانخفاض درجة حرارة الوسط المبرد تنخفض درجة حرارة الغليان في المبخر والضغط في المبخر ووعاء الامتصاص. ينخفض أيضاً تركيز المحلول الغني وبالتالي يصبح الفرق أقل بين تركيز المحلولين الغني والضعيف. بالنتيجة تزداد نسبة التدوير، وتزداد كمية الحرارة في المولد ووعاء الامتصاص وتنخفض قيمة المعامل الحراري. عندما يكون فرق التركيز للمحلولين في الدورات الفعلية لآلات الأمونيا - ماء أقل من (4%) يتم الانتقال إلى آلة تبريد بمرحلتين.

5 - 12 - دارة التبريد الامتصاصية بوعاءي امتصاص وبمولدين وبمرحلة واحدة:

تختلف هذه الدارات عن غيرها من الدارات السابقة التي درسناها حيث في هذه الدارة يوضع مكان المكثف وعاء امتصاص ومكان المبخر يوضع مولد.

يبين الشكل (15 - 12) رسماً تخطيطياً لهذه الدارة مع تمثيل عمل الدورة على مخطط i-ξ.

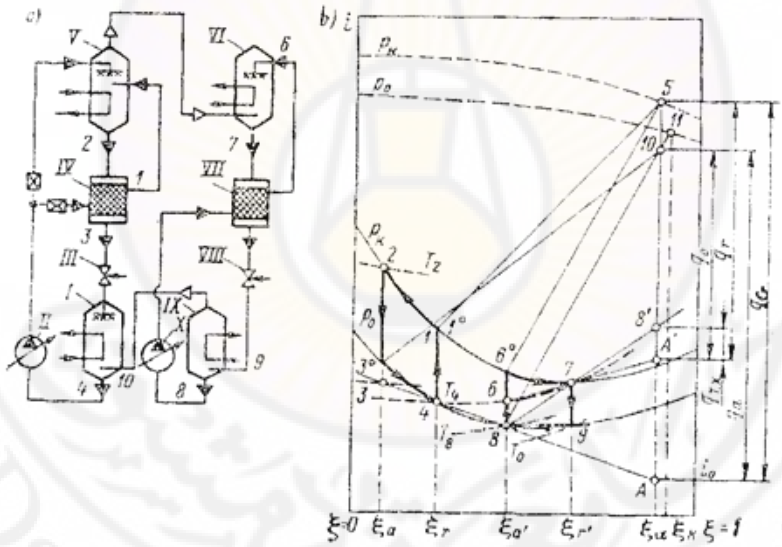
تعمل الآلة على الشكل التالي:

ينطلق البخار من المولد V إلى وعاء الامتصاص VI ذي الضغط المرتفع (يختلف عن وعاء الامتصاص العامل عند ضغط منخفض) فيتم امتصاصه بوساطة المحلول الضعيف المدفوع بوساطة مضخة إلى المولد ذي الضغط المنخفض IX. المحلول الغني من وعاء الامتصاص المرتفع الضغط يمدد ويدخل إلى المولد المنخفض الضغط، إذ يغلي عند ضغط منخفض على حساب الحرارة المنقولة من المصدر المبرّد. يدخل البخار المتشكل عند غليان المحلول في المولد المنخفض الضغط إلى وعاء الامتصاص ويتم امتصاصه بوساطة المحلول

الدائر بين وعاء الامتصاص والمولد.بين وعاء الامتصاص والمولد في الدورة المباشرة وبين المولد المنخفض الضغط ووعاء الامتصاص المرتفع الضغط في الدورة العكسية توضع مبادلات حرارية.

يجب من أجل العمل الطبيعي للآلة أن يتساوى تركيز البخار الخارج من المولد مع تركيز البخار الخارج من المولد المنخفض الضغط. بما أن تركيز البخار القادم من المولد المنخفض الضغط دائما أعلى من تركيز البخار الخارج من المولد، فمن الضروري تقطير البخار بعد المولد.

إذا لم يتحقق رفع التركيز بالتقطير بعد المولد يجب تخفيض تركيز البخار الخارج من المولد المنخفض الضغط اصطناعياً بإضافة سائل إليه من الجهاز نفسه.



الشكل (15 - 12) دارة التبريد بوعائي امتصاص وبمولدين وبمرحلة واحدة
a- مخطط الآلة، b- تمثيل الإجراءات في مخطط أ-ξ
1- وعاء امتصاص، II، X- مضخات، III، VIII- صمامات تمدد، IV، VII- مبادلات حرارية، V- مولد، VI- وعاء امتصاص مرتفع الضغط، IX- مولد منخفض الضغط.

إذا افترضنا أنه من المولد المنخفض الضغط يخرج (1-δ)kg بخاراً بتركيز ξ_k و (δ)kg سائلاً بتركيز $\xi_{s'}$، ومن المولد يخرج بخار بتركيز ξ_d، فمن شرط تساوي مجمل تركيز البخار الرطب القادم إلى وعاء الامتصاص والخارج من المولد يمكن تحديد كمية السائل المضاف.

$$(1-\delta)\ \xi_k + \delta\ \xi_{s'} = \xi_d$$

ومنه:

$$\delta = (\xi_k - \xi_d) / (\xi_k - \xi_{s'}) \qquad (12\text{-}19)$$

أثناء حساب الآلة من الضروري عدّ كمية المحلول المضافة من المولد المنخفض الضغط إلى البخار، إذا كان تعادل التركيز مطلوباً. أما الحساب المتبقي فلا يختلف عن حساب آلة التبريد الامتصاصية العادية.

من ميزات هذه الآلة هو إمكان استخدامها عند درجات الحرارة الأكثر انخفاضاً للمصدر المسخن والضغوط الأكثر انخفاضاً في وعاء الامتصاص والمولد المنخفض الضغط وإمكان التسخين الزائد للماء في وعاء الامتصاص المرتفع الضغط بالمقارنة مع المكثف.

6 - 12 - آلة التبريد الامتصاصية بدون مضخة:

تكون إنتاجية آلة التبريد الامتصاصية غير المجهزة بمضخة صغيرة عادة لذلك يقتصر استعمال مثل هذه الدورة في البرادات المنزلية والمكيفات.

تتميز هذه الدورة بعدم وجود مضخة لضخ المحلول من وعاء الامتصاص إلى المولد وبالتالي لا يوجد في هذه الدورة أي أجزاء متحركة مما يساعد الآلة على العمل لفترات طويلة من الزمن دون الحاجة إلى أي صيانة تذكر.

يوجد نموذجان من هذا النوع أحدهما ذو تأثير تبريدي دوري والآخر ذو تأثير تبريدي مستمر.

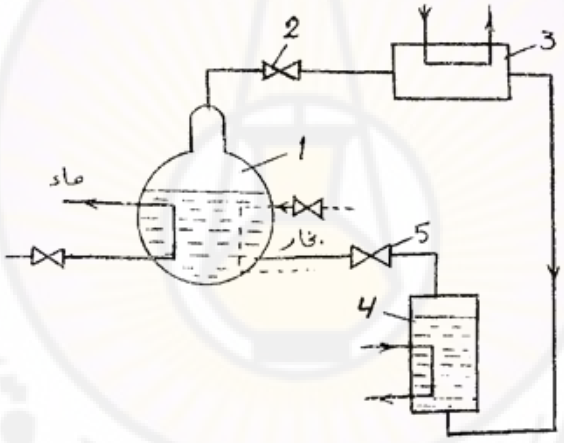
1 - 6 - 12 - آلة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الدوري:

يبين الشكل (6 - 12) مخطط هذه الآلة والتي تتألف من الجهاز (1) الذي يلعب وبشكل دوري مرة دور المولد ومرة دور وعاء الامتصاص. في المرحلة الأولى يعمل هذا الجهاز كمولد حيث يغلي فيه المحلول الغني وتنطلق الأبخرة الغنية بوسيط التبريد عبر صمام (2) لتذهب إلى المكثف (3) الذي يبرد بالماء أو الهواء.

يهبط السائل المتكون في المكثف إلى المبخر (4) إذ يكون في المرحلة الأولى الصمام (5) مغلقاً وبالتالي يمتلئ المبخر بسائل وسيط التبريد. عند ملء المبخر بوسيط التبريد تتوقف عملية الشحن أي تغذية المولد بالحرارة وتبدأ المرحلة الثانية حيث يغلق الصمام (2) ويفتح الصمام (5) وتبدأ عملية التفريغ.

يتم في هذه المرحلة تبريد الجهاز (1) بالماء البارد وعندها يقوم هذا الجهاز بوظيفة وعاء الامتصاص إذ يمتص المحلول الفقير المتبقي في الجهاز الأبخرة المنطلقة إليه من المبخر وبالتالي يحافظ على قيمة منخفضة للضغط ودرجة الحرارة ضمن المبخر.

تستمر عملية التفريغ هذه إلى أن تنتهي كمية سائل وسيط التبريد الموجود في المبخر وعندها يتم فتح الصمام (2) وإغلاق الصمام (5) لتبدأ المرحلة الأولى من جديد.



الشكل (16 - 12) آلة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الدوري

2 - 6 - 12- دورة آلة التبريد الامتصاصية بدون مضخة ذات التأثير المستمر (المنزلية):

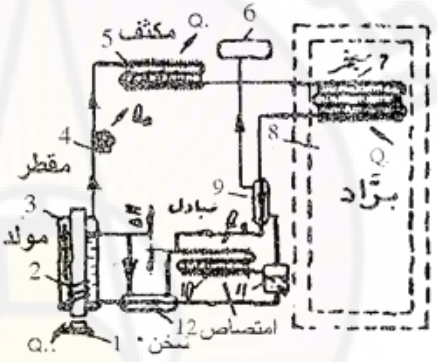
تشحن هذه الآلة بالإضافة إلى محلول الأمونيا – ماء بغاز خامل (الهيدروجين) والذي يوجد فقط في وعاء الامتصاص والمبخر (أي في الأجهزة ذات الضغط المنخفض) وذلك ليتم موازنة الضغط في جميع أجزاء الدارة.

إن الضغط الذي تشكله أبخرة الأمونيا النقية يتناسب مع درجة حرارة الوسط الخارجي المبرد للمكثف أما الضغط في المبخر ووعاء الامتصاص فيتشكل من ضغط مزيج أبخرة الأمونيا المشبعة والهيدروجين معاً.

وبهذا الشكل فإنه عند وجود ضغط متساو في أجهزة الدارة يكون الضغط الجزئي للأمونيا في المبخر أقل بكثير من ضغط الأمونيا في المكثف وهكذا نرى أن استخدامنا للغاز الخامل قد عوضنا عن استخدام أجهزة متحركة في الدارة وبدون استعمال الصمامات.

يتم سير عمل هذه الدارة (الشكل 17 - 12) على الشكل التالي:

يغلي المحلول الغني في المولد (3) نتيجة تسخينه بوساطة مقاومة كهربائية أو بوساطة الغاز (1) إذ تذهب الأبخرة المتشكلة إلى المقطر (4) المبرد هوائياً وبالتالي تقل نسبة أبخرة الماء في مزيج الأبخرة الذاهب إلى المكثف (5).



الشكل (17 - 12) مخطط آلة التبريد الامتصاصية بدون مضخة ذات التأثير المستمر

تتجه الأمونيا السائلة المتشكلة في المكثف نحو المبخر (7) المتوضع ضمن البراد المنزلي (8) إذ لا يوجد بين المبخر والمكثف صمام تمدد بسبب كون الضغط في المكثف والمبخر متساوياً مع ملاحظة أنه يتم وضع المكثف بمستوى أعلى من مستوى المبخر وذلك لكي يتم انتقال السائل ما بين المكثف والمبخر تحت تأثير التثاقل.

يتم في المبخر تبخر سائل الأمونيا حيث يمتص كمية من الحرارة قدرها Q_o وتنتشر أبخرة الأمونيا في المبخر ضمن الهيدروجين حيث يذهب هذا المزيج الغازي إلى وعاء الامتصاص (10) عبر المبادل الحراري (9). تتم في وعاء الامتصاص عملية امتصاص بخار الأمونيا من قبل المحلول الضعيف القادم من المولد والذي يتساقط من الأعلى نحو الأسفل.

يتم طرح الحرارة الناتجة عن عملية الامتصاص إلى الوسط الخارجي (الهواء). يصعد الهيدروجين المتحرر في وعاء الامتصاص عبر المبادل الحراري الغازي (9) عائداً إلى المبخر.

يذهب المحلول الغني المتكون في وعاء الامتصاص عبر المبادل الحراري (12) إلى المولد وهكذا تتكرر الدورة.

لكي يتمكن المحلول الفقير الانتقال من المولد إلى وعاء الامتصاص فإنه يجب أن يكون منسوب وعاء المولد أعلى من منسوب وعاء الامتصاص بالارتفاع ΔH.

كما أنه لكي ينتقل المحلول الغني من وعاء الامتصاص إلى القسم العلوي من المولد فإنه يجب التغلب على فرق الارتفاع بين مستوى السائل في المولد ومنسوب السائل في المجمع (11). تتم عملية صعود المحلول الغني إلى الأعلى بمساعدة السيفون الحراري (2) وهو أنبوبة ضيقة قطرها mm(5÷4) فعندما يغلى المحلول ضمن الأنبوبة فإن فقاعات البخار المتشكلة تعمل على رفع السائل إلى الأعلى ليصب في القسم العلوي من المولد.

يستعمل مجمع الهيدروجين (6) لتنظيم الضغط في الدارة عند تغير درجة حرارة الوسط الخارجي.

ميزة هذه الدارة هي عدم وجود أجهزة متحركة وبساطة صنعها وعدم وجود ضجيج ولكنها ليست اقتصادية بالشكل الكافي عندما يتم تسخين المولد بالكهرباء إذ تكون الاستطاعة الكهربائية المصروفة أكبر من الاستطاعة الكهربائية اللازمة لتشغيل ضاغط عادي. أما عندما يتم تسخين المولد بغاز أو الكيروسين فإن كلفة الاستثمار تقل بـ 4 إلى 5 مرات عن الحالة الأولى.

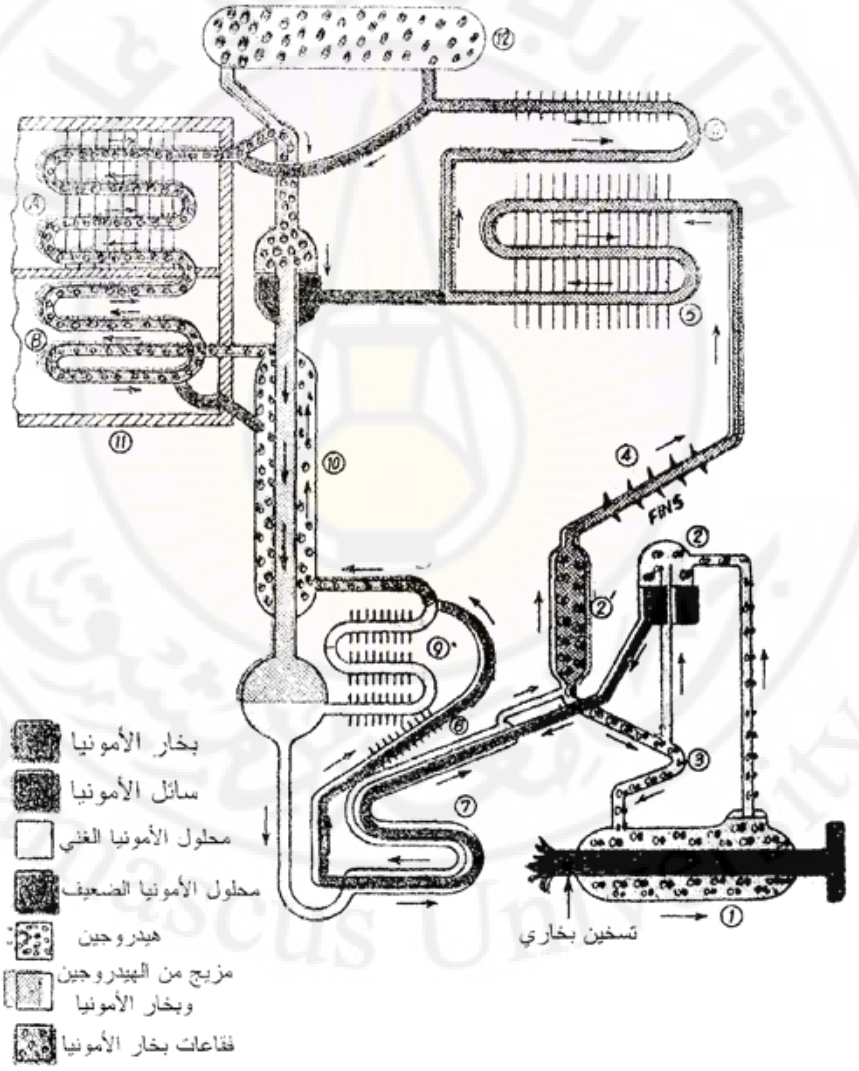
على الشكل (12-17`) نرى مخططاً أخر لدورة تبريد امتصاصية لبراد منزلي. تتألف الدورة من الأجزاء الرئيسة التالية :

1-مولد، 2 و `2 -فاصل، 3- محللة، 4-مقطر، 5- مكثف رئيس، 6- مكثف مساعد، 7- مبادل حراري سائلي، 8- مبرد أولي، 9- وعاء امتصاص، 10- مبادل حراري غازي، 11- مبخر ذي درجة حرارة عالية (a) ومزدوجة حرارة منخفضة (b).

تعمل هذه الدورة كالتالي :

يتشكل بخار الأمونيا في المولد نتيجة تسخين محلول الأمونيا الغني. بخار الأمونيا المتشكل يمر عبر الفاصل والمحللة والمقطر لإزالة بخار الماء وجزيئات الماء المحمولة مع

الأمونيا. يتجه بخار الأمونيا إلى المكثف الرئيس حيث يتكاثف 90% منه، أما النسبة المتبقيـــة 10% تتكاثف في المكثف المساعد.



الشكل (17 - 12)

يذهب سائل الأمونيا المتكاثف ذو الضغط العالي إلى المبخر A و B ويتبخر بوجود غاز الهيدروجين. الحرارة اللازمة للتبخر تؤخذ من البراد ويتم الحفاظ على درجة الحرارة المنخفضة المطلوبة في البراد.

يتجه مزيج بخار الأمونيا والهيدروجين إلى وعاء الامتصاص عبر المبادل الحراري الغازي. الهيدروجين الساخن القادم من وعاء الامتصاص يبرد بوساطة مزيج الأمونيا والهيدروجين البارد القادم من المبخر.

تعطى الحرارة المنطلقة خلال عملية الامتصاص للهيدروجين فيصبح ساخناً. يبرد الهيدروجين الساخن في المبادل الحراري الغازي.

المحلول الغني يذهب من وعاء الامتصاص إلى المولد عبر المبادل الحراري السائلي (7) إذ يتم تسخين المحلول الغني وتبريد المحلول الضعيف.

لعملية التبادل الحراري هذه فائدة لأنها تقلل من كمية الحرارة اللازم صرفها في المولد وتزيد من الاستطاعة الامتصاصية لمحلول الأمونيا الضعيف المبَرد.

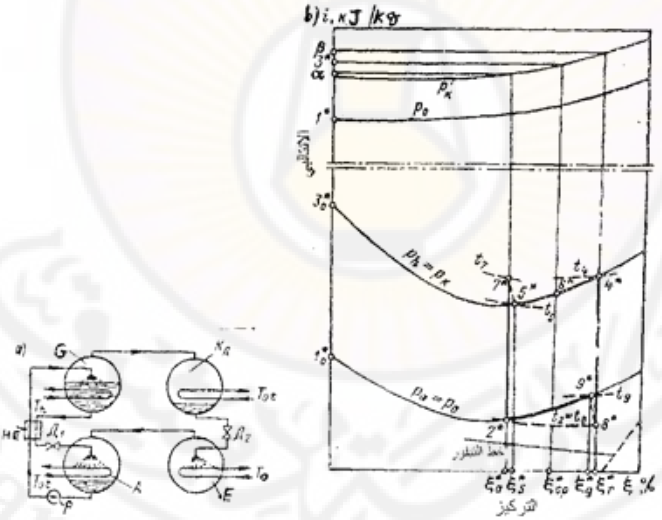
7 - 12 – خصائص إجراءات آلات التبريد الامتصاصية التي يكون فيها الماء وسيط للتبريد وبروميد الليثيوم مادة ماصة:

المخطط والإجراءات النظرية في إحداثيات i-ξ لآلة التبريد الامتصاصية العاملة على الماء – بروميد الليثيوم موضحة على الشكل (18 - 12). بخار الماء المتشكل في المبخر يدخل إلى وعاء الامتصاص في الحالة 1^* (الشكل 8,b - 12) وهناك يتم امتصاصه بوساطة المحلول الغني ذي الحالة 8^*. في الإجراء النظري للتبادل الحراري بين المحلول الغني الساخن والضعيف البارد في المبادل الحراري تكون درجة حرارة المحلول الضعيف T_2 في نهاية إجراء الامتصاص (النقطة 2^*) وعند دخوله إلى المبادل الحراري مساوية درجة حرارة المحلول الغني T_8 عند خروجه من المبادل الحراري (النقطة 8^*). نظراً لأنه في المبادل الحراري يتم إرجاع كامل للحرارة بين المحلولين الساخن والبارد، لذا فإن المحلول الغني يدخل إلى وعاء الامتصاص بتبريد زائد بالمقارنة مع حالة التوازن، النقطة 8^*. لذلك فإن إجراء الامتصاص يتألف من إجراءين: إجراء اديباتي – ايزوباري (9^*-8^*)، والذي يكون مصحوباً بارتفاع درجة حرارة المحلول من T_8 إلى T_9 وانخفاض تركيزه من ξ_{8^*} إلى ξ_{9^*}.

وإجراء انتقال حراري كتلي مشترك (*2-*9)، والذي يتصف بانخفاض درجة حرارة المحلول من T_9 إلى T_2 وتركيزه من ξ_{9}* إلى ξ_{a}*.

يبلغ المحلول الضعيف في نهاية إجراء الامتصاص (النقطة *2) حالة التوازن ويُضخ بوساطة مضخة إلى المبادل الحراري، إذ يسخن بوساطة المحلول الغني الساخن حتى الحالة *7 عند تركيز ثابت ξ_{a}*.

عند دخول المحلول الضعيف إلى المولد يكون بحالة زائدة التسخين بالمقارنة مع حالة التوازن. إجراء تشكيل بخار وسيط التبريد من المحلول الضعيف في المولد يقسم إلى قسمين: إجراء إرجاع (تبخير) اديباتي – ايزوباري (*5-*7) ويكون مصحوباً بانخفاض درجة حرارة المحلول من T_7 حتى T_5 ويزداد تركيزه من ξ_{a}* حتى ξ_{5}*، وإجراء غليان المحلول (*4-*5) وفيه يتم الانتقال الحراري الكتلي المشترك ويتصف بارتفاع درجة حرارة المحلول من T_5 حتى T_4 وارتفاع تركيزه من ξ_{5}* حتى ξ_{4}*.



الشكل (18 - 12)آلة التبريد الامتصاصية

العاملة على الماء – بروميد الليثيوم

a– مخطط، b– الإجراءات النظرية في مخطط i-ξ

في نهاية إجراء الغليان يحقق المحلول حالة توازن *4 ويدخل إلى المبادل الحراري حيث يبرد بوساطة المحلول الغني حتى الحالة *8 عند تركيز ثابت ξ_{a}* وبعد ذلك يخنق في

صمام خنق D_1 قبل الدخول إلى وعاء الامتصاص. في بداية إجراء مغادرة جزيئات البخار للمحلول يتشكل في المولد بخار بالحالة α متوازن مع حالة المحلول الضعيف 7^* عند دخوله إلى المولد، أما في نهاية إجراء الغليان يتشكيل بخار بالحالة β المتوازن مع المحلول الغني بالحالة 4^* قبل خروجه من المولد. البخار المتشكل في المولد يعدّ زائد التسخين (محمص) ويذهب إلى المكثف بالحالة 3^* المتوازنة مع التركيز الوسطي للمحلول ξ_{cp^*} (النقطة 6^*) في المولد. في المكثف يتم طرح حرارة زيادة التسخين لبخار وسيط التبريد وتكاثفه أيضاً. يوصف إجراء التكاثف في المكثف بالنقطة (3_0^*-3^*) في مخطط i-ξ. يخرج البخار المتكاثف من المكثف بحالة مشبعة (النقطة 3_0^*) ويخنق في صمام تمدد D_2 ثم يدخل إلى المبخر حيث يتم إجراء الغليان (3_0^*-1^*) ويتشكل بخار مشبع جاف الحالة (1^*).

يتصف السائل المشبع في المبخر بالحالة 1_0^* . في الإجراءات النظرية لآلة التبريد الامتصاصية العاملة على الماء – بروميد الليثيوم يكون ضغط البخار P_o في المبخر مساوياً ضغط البخار P_a في وعاء الامتصاص، وضغط البخار في المكثف P_k مساوياً ضغط البخار P_h في المولد.

التيارات الحرارية في أجهزة آلة التبريد الامتصاصية العاملة على الماء – بروميد الليثيوم وذات الإجراءات النظرية في المبخر، والمكثف، ووعاء الامتصاص، والمولد، والمبادل الحراري هي:

في المبخر:

$$q_o^* = i_{1^*} - i_{3^*} \qquad (12\text{-}20)$$

في المكثف:

$$q_k^* = i_{3^*} - i_{3^*_0} \qquad (12\text{-}21)$$

في وعاء الامتصاص:

$$q_a^* = i_{1^*} + (f^* - 1)i_{8^*} - f^* i_{2^*} \qquad (12\text{-}22)$$

في المولد:

$$q_G^* = i_{3^*} + (f^* - 1)i_{4^*} - f^* i_{7^*} \qquad (12\text{-}23)$$

في المبادل الحراري:

$$q_t^* = f^*(i_{7^*} - i_{2^*}) = (f^* - 1)(i_{4^*} - i_{8^*}) \qquad (12\text{-}24)$$

إذ:

$$f^* = \frac{\xi_r^*}{(\xi_r^* - \xi_a^*)} \qquad (12\text{-}25)$$

المعامل الحراري للآلة:

$$\zeta^* = \frac{q_0^*}{q_G^*} \qquad (12\text{-}26)$$

قيمة المعامل الحراري لآلة التبريد الامتصاصية ماء – بروميد الليثيوم أعلى من قيمته بالنسبة لآلة التبريد الامتصاصية أمونيا– ماء ويصل حتى ($\zeta = 0.6 \div 0.7$).

تتميز آلة التبريد الامتصاصية ماء – بروميد الليثيوم بالفرق الكبير بين درجتي حرارة الغليان الطبيعية للماء وبروميد الليثيوم لذلك تكون أبخرة وسيط التبريد المتشكلة في المولد نقية ولا توجد أي حاجة لإجراء عمليات تقطير مما يميز هذه الآلة بالبساطة. كما أن الخاصة المميزة لهذه الآلة هي أن جميع العمليات الحرارية تتم تحت ضغط أخفض من الضغط الجوي.

إن غليان الماء عند ضغط أخفض بكثير من الضغط الجوي ينتج عنه حجم نوعي كبير لبخار الماء وهذا يتطلب مقاطع تصريف واسعة للأقنية وخصوصاً تلك الواصلة ما بين المبخر ووعاء الامتصاص.

عند التصميم العملي لوحدة التبريد الامتصاصية العاملة على بروميد الليثيوم فإن المبخر ووعاء الامتصاص يتوضعان في غلاف مشترك سفلي، أما المولد والمكثف فيتوضعان في غلاف مستقل علوي. إن مثل هذا الترتيب يعرف عادة بالنظام ذي الغلافين.

يتم تدوير مياه التبريد عبر وعاء الامتصاص لتنتزع الحرارة منه وتتجه إلى المكثف لانتزاع حرارة تكاثف البخار المولد. إن مثل هذا النظام موضح على الشكل (`18 - 12).

يتم التحكم باستطاعة هذه الوحدة بتنظيم تدفق ماء المكثف بوساطة ترموستات منوضع على الخط الخارج للماء المبّرد.

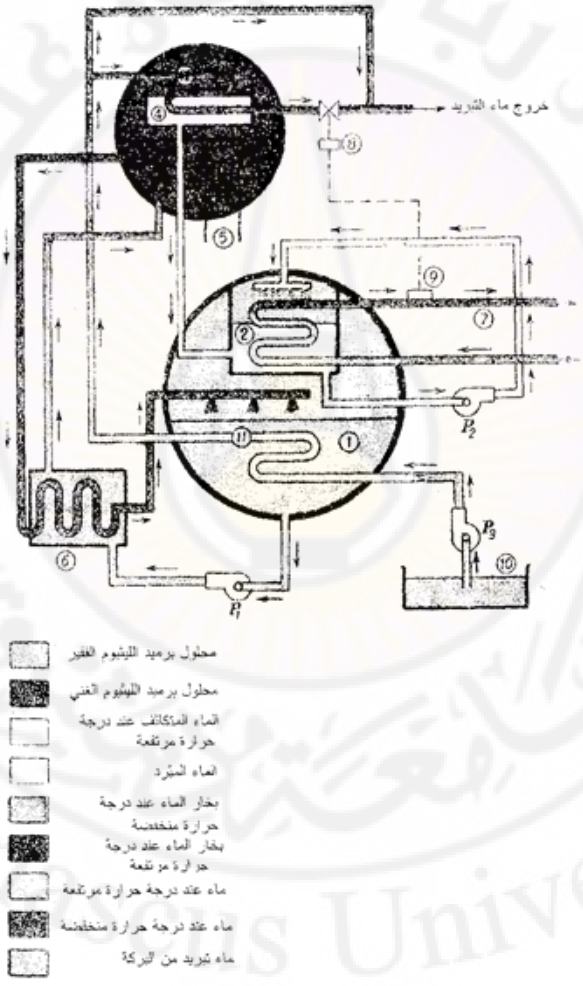
يحافظ على قيمة ثابتة لدرجة حرارة غليان المحلول بالحفاظ على ثبات ضغط بخار الماء. تحدد كمية الماء التي يمكن أن تزال من المحلول بكمية مياه التبريد المتدفقة عبر وشيعة المكثف.

تستخدم هذه الوحدة بشكل أساسي لتبريد الماء المستخدم في وحدات تكييف الهواء.

العناصر التي يتألف منها النظام ذو الغلافين هي :

1- وعاء امتصاص، 2- مبخر، 3-مولد، 4- مكثف، 5-وشيعة تسخين، 6-مبادل حراري 7-وشيعة لنقل الحمل التبريدي، 8- صمام تحكم، 9-ترموستات، 10-بركة لمياه التبريد، 11- وشيعة تبريد في وعاء الامتصاص لزيادة القابلية الامتصاصية للمحلول، 12- وشيعة تكاثف.

يعمل النظام ذو الغلافين كالتالي :



الشكل (`18 - 12)

يتم امتصاص بخار الماء المتشكل من قبل بروميد الليثيوم المبخوخ في وعاء الامتصاص محافظاً على ضغط منخفض في المبخر. عندما يمتص محلول بروميد الليثيوم بخار الماء يصبح ضعيفاً ويضخ بعد ذلك بوساطة المضخة P1 إلى المولد.

تقدم الحرارة إلى المولد من مصدر خارجي، وبالتبخير الجزئي للماء يصبح محلول بروميد الليثيوم غنياً. هذا المحلول الغني يبخ داخل وعاء الامتصاص بعد مروره عبر مبادل حراري.

يتكاثف بخار الماء المتشكل في المولد نتيجة تسخين المحلول في المكثف بتدوير مياه التبريد بوساطة المضخة P_3، التي تأخذ الماء من البركة.

يؤخذ المتكاثف من المكثف إلى المبخر ثانية لتعويض بخار الماء المتشكل في المبخر، وهكذا تكتمل الدورة.

يتم من أجل التبريد السريع للمحلول الملحي القادم من المستهلك إلى داخل المبخر تدوير الماء المبرد بواسطة المضخة P_2 ويبخ في المبخر كما هو موضح في الشكل.

يوضع تحكم ترموستاتي على ماء تبريد المكثف، إذ يتم التحكم بكمية مياه التبريد وفقاً لدرجة المحلول المبرد المتدفق عبر الوشيعة 7. درجة حرارة المحلول الملحي المتدفق عبر الوشيعة 7 تحدد وفق الحمل الواقع على وحدة التبريد.

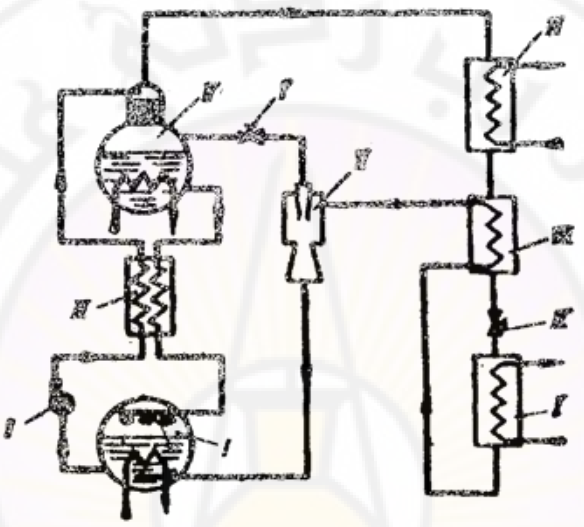
لأجل التشغيل المتوازن للوحدة يجب أن يكون وزن بخار الماء الممتص قي وعاء الامتصاص من قبل محلول بروميد الليثيوم مساوياً بخار الماء المتشكل في المولد، والذي يساوي وزن المتكاثف في المكثف، ويجب أن يساوي أيضاً وزن بخار الماء المتشكل في المبخر.

8 - 12 - دورة آلة التبريد الامتصاصية مع ضاغط ناظم بخاري:

تستعمل هذه الدارة عندما تكون درجة حرارة المنبع الحراري للمولد منخفضة إذ تعمل هذه الدارة على تحسين عملية فصل البخار في المولد وتحقيق الدورة المباشرة. يبين الشكل (19-12) رسماً تخطيطياً لهذه الدورة.

نلاحظ في هذه الدارة أن جزءاً من البخار المتشكل في المولد تتم إعادته إلى وعاء الامتصاص عبر الضاغط الناظم الذي يقوم برفع الضغط في وعاء الامتصاص.

يمكن الاستفادة من هذه الدورة في الحصول على درجات حرارة منخفضة في المبخر تصل حتى الدرجة c°70- مع التنويه إلى أن الضغط في وعاء الامتصاص يأخذ قيمة أدنى من الضغط الجوي.



الشكل (19 - 12)

دارة تبريد امتصاصية مع ضاغط ناظم بخاري

I- وعاء امتصاص، II - مضخة المحلول الغني، III- مبادل حراري

IV- مولد، V- صمام تمدد البخار، VI- ضاغط ناظم بخاري

VII- مكثف، VIII- مبادل حراري بخاري سائلي

IX- صمام تمدد المادة العاملة، X- مبخر

9 - 12- تصميم وخصائص حساب الأجهزة الأساسية لآلات التبريد الامتصاصية:

أجهزة الآلات الامتصاصية تقسم من حيث مبدأ العمل إلى أجهزة غمرية وأجهزة ترطيبية. أما من الناحية التصميمية تقسم هذه الأجهزة إلى أنبوبية صندوقية عمودية وأفقية، حلزونية صندوقية، ذات أنابيب مزدوجة ومتعددة العناصر.

سوف ندرس تصميم الأجهزة الأساسية لآلات التبريد الامتصاصية الأمونيا – مـــاء. لتصنيع هذه الأجهزة تستخدم المواد نفسها التي تستخدم لأجهزة آلات التبريد الضاغطية العاملة على الأمونيا وأجهزة آلات المضخات الحرارية.

1 - 9 - 12- المولدات:

إن مهمة المولد هي تبخير وسيط التبريد من محلول الأمونيا والمـــاء الغنـــي. يبـــين الشكل (20-12) مولد غمر أنبوبياً صندوقياً أفقياً، يسخن بغازات المداخن.

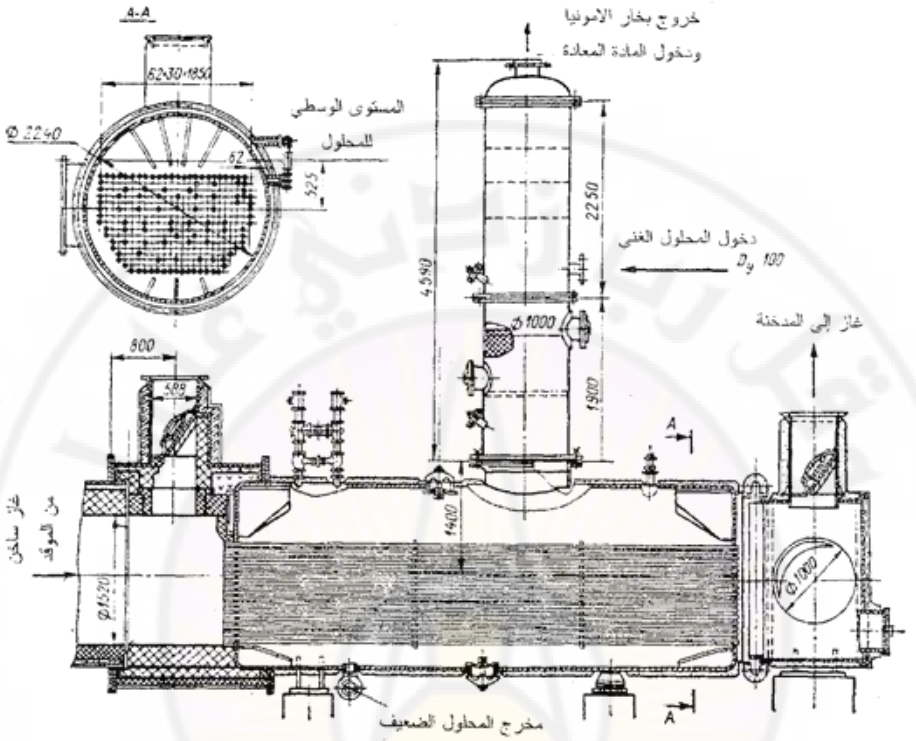
تمر الغازات بداخل أنابيب الجهاز، وفي الفراغ بين الأنابيب يغلي المحلول. يركـــب على غلاف الجهاز مباشرة عمود تقطير. المولد يجهز بحماية آلية والتي تغلق مخرج المحلول الضعيف من الجهاز وتفصل تغذية الغاز المسخن في حالة التوقف المفاجئ لمضخة المحلـــول الغني وارتفاع درجة حرارة الغاز المسخن أكثر من 300°c.

المولدات الترطيبية ذات التصميم الأفقي وبالأخص العمودية تعدّ ذات فعالية أكبـــر. على الشكل (21-12) نرى مولداً ترطيبياً أنبوبياً صندوقياً عمودياً، يتألف من ثلاثة أجزاء.

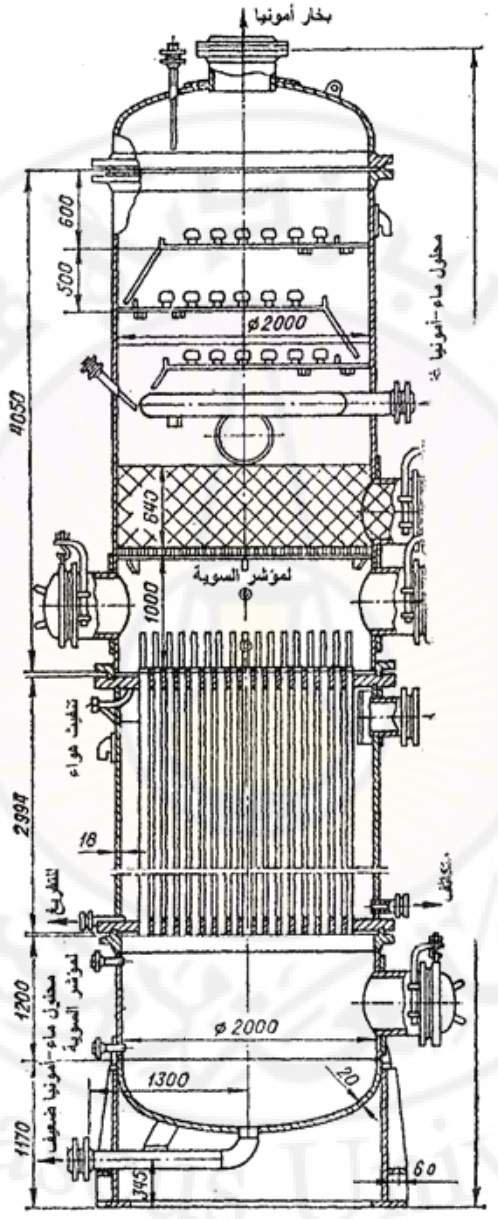
في الجزء العلوي للجهاز يركب عمود تقطير، تحته يركب جهاز غليان، أما الجـــزء السفلي فهو لتجميع المحلول الضعيف (مجمع).

يدفع إلى الجزء العلوي بخار الماء عبر الفراغات بين أنابيب جهـــاز الغليـــان، أمـــا البخار المتكاثف فيسيل نحو الأسفل ويطرح من الجهاز. المحلول الغني يـــدفع إلـــى الحلقـــات الخزفية في الجزء السفلي لعمود التقطير ويمر عبرها ويسيل بـــشكل طبقـــة علـــى الـــسطوح الداخلية لأنابيب جهاز الغليان ويتجمع بعد ذلك في مجمع المولد.

بخار الأمونيا – ماء المتشكل عند غليان المحلول يصعد في الأنابيب باتجاه الأعلـــى ماراً عبر صحون المقطر والمملوءة بالمادة الباردة المعادة من الـــدفلكماتور فيرتفـــع تركيـــزه ويخرج من الجهاز عبر الفوهة العلوية.



الشكل (20 - 12) مولد أنبوبي صندوقي أفقي يسخن بالغاز



الشكل (21-12) مولد أنبوبي صندوقي ترطيبي عمودي

2- 9 - 12- الدفلكماتور:

من الناحية التصميمية يمكن أن يصنع الدفلكماتور بشكل أنبوبي صندوقي أفقي، أنبوبي صندوقي بأنابيب حلزونية، متعدد العناصر أو مزدوج (ثنائي الأنابيب). المؤشر الرئيس لاختيار الجهاز هو أن تكون التيارات متعاكسة الاتجاه لبخار الأمونيا – ماء والوسط المبرد (الماء أو محلول غني بارد). إن سرعة حركة الوسط تأخذ دوراً مهماً في فعالية التبادل الحراري، يجب أن لا تقل سرعة البخار عن m/sec (1-1.5) وسرعة الوسط المبرد (0.4÷0.5)m/sec.

في الوقت نفسه فإنه تجنباً لحمل وإبعاد المادة المعادة وأخذها إلى المكثف فإن سرعة البخار يجب أن لا تزيد على m/sec 2.5. من أجل السيلان الحر للمادة المعادة إلى عمود التقطير يجب أن يتوضع الدفلكماتور بمستوى أعلى من العمود.

3 - 9 - 12- أوعية الامتصاص:

من حيث مبدأ العمل تقسم أوعية الامتصاص إلى غمرية وترطيبية. أما من حيث التصميم يمكن أن تكون أنبوبية صندوقية، أنبوبية صندوقية بأنابيب حلزونية، ثنائية الأنابيب ومتعددة العناصر.

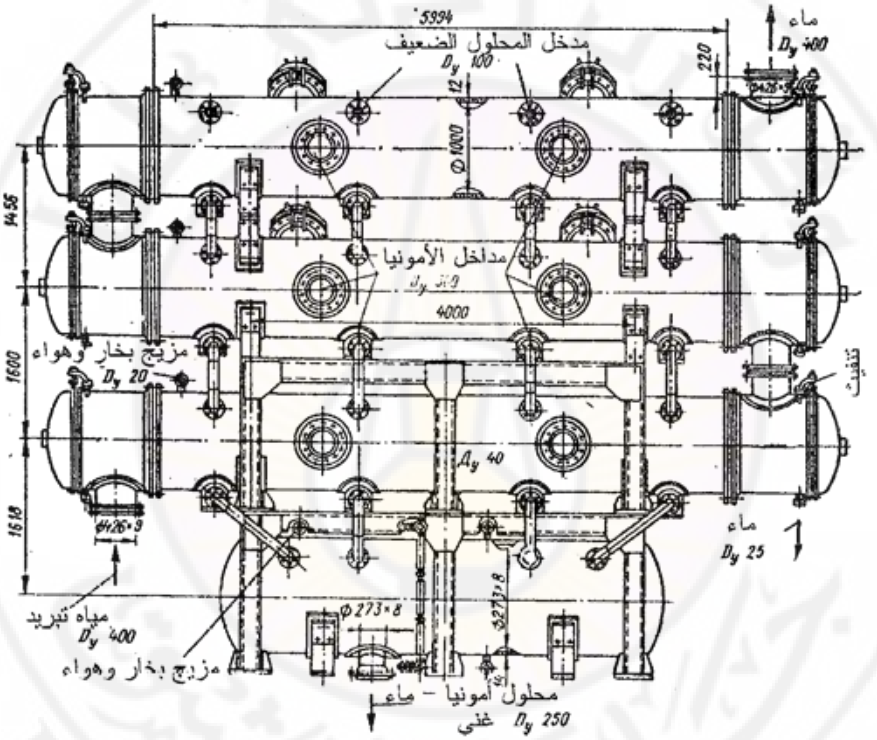
يملأ وعاء الامتصاص الأنبوبي الصندوقي نموذج الغمر بالمحلول حتى (75÷85%) من حجم الفراغ بين الأنابيب. المحلول الضعيف يُعطى من الأعلى، أما بخار الأمونيا يُعطى عبر المجمع إلى الجزء السفلي للجهاز ويتوزع على كامل طول الجهاز.

تدخل مياه التبريد إلى أنابيب مشكلة عدة أشواط. من مساوئ هذا الجهاز هي وجود ضغط هيدروستاتيكي كبير وضعف شدة التبادل الحراري.

يبين الشكل (22 - 12) وعاء امتصاص ترطيبياً متعدد العناصر، ويتألف من أربعة عناصر صندوقية أنبوبية متوضعة الواحد فوق الآخر. المحلول الضعيف يدخل إلى الفراغ بين أنابيب العنصر العلوي متجهاً إلى مغسل ترطيب ويرطب أنابيب المبادلات الحرارية المتوضعة تحته والتي تمر فيها مياه التبريد. في كل عنصر يوجد مغسل ترطيب.

يدخل بخار الأمونيا إلى الفراغ بين أنابيب العناصر عبر مجمعات خاصة ويتم امتصاصه من قبل المحلول المنساب على سطوح الأنابيب. تحت وعاء الامتصاص يتوضع خزان للمحلول الغني.

توجد أوعية امتصاصية تبخرية تحوي فالات ترذيذ بدلاً من مغسل الترطيب إذ يرذذ المحلول الضعيف وبذلك تزداد مساحة سطح تلامسه مع بخار وسيط التبريد. يكون عمل أوعية الامتصاص الترطيبية أكثر فعالية عند ترطيب الأنابيب بالمحلول بكثافة تزيد على (150)l/m.h.



الشكل (22 - 12) وعاء الامتصاص الترطيبي المتعدد العناصر

4 - 9- 12 – المبادلات الحرارية:

المبادلات الحرارية للمحاليل والمبادلات الحرارية للبخار والسائل يمكن أن تكون ثنائية الأنابيب، متعددة العناصر، وأنبوبية صندوقية أفقية. بهدف تقليل الضياع الحراري إلى الوسط المحيط يمرر المحلول الضعيف الساخن في هذه المبادلات عبر أنابيب، أما المحلول الغني يمر في الفراغ بين الأنابيب. تؤخذ سرعة المحاليل بما لا يقل عن (0.5 m/sec).

في مبادلات البخار والسائل يتبادل البخار الحرارة مع سائل من المكثف. يمر البخار في الفراغ بين الأنابيب بسرعة m/sec (15÷10).

نتيجة لصغر قيم معامل الانتقال الحراري من جهة البخار يصنّع السطح الخارجي لأنابيب المبادل الحراري بشكل مريش.

5 - 9 - 12 -المبخرات:

يمكن في آلات التبريد الامتصاصية الأمونيا – ماء استخدام مبخرات الأمونيا لآلات التبريد الضاغطية. إن خصوصية عمل الجهاز هي ضرورة طرح البلغم الذي يتجمع بشكل مستمر في المبخر بسبب دخول وسيط تبريد غير نقي إليه.

نظراً لانعدام اتساخ المبخر بالزيت، لذا فإن معامل الانتقال الحراري فيه يكون أعلى منه في مبخر آلة التبريد الضاغطية.

6 - 9 - 12 – المكثفات:

تستخدم في آلات التبريد الامتصاصية الأمونيا – ماء المكثفات ذات التصاميم نفسها المستخدمة في آلات التبريد الضاغطية.

7 - 9 - 12 – مبردات الهواء:

بما أن وجود الهواء في المجموعة يسيء بشكل حاد لعمل آلة التبريد الامتصاصية، لذلك من أجل إبعاده تستخدم مبردات الهواء، أما في آلات التبريد الامتصاصية ماء – بروميد الليثيوم توضع أيضاً مضخات تخلخلية (تفريغ).

مبدأ عمل مبرد الهواء يرتكز على امتصاص بخار وسيط التبريد من خليط البخار والهواء من قبل محلول الأمونيا – ماء الضعيف المبرَّد. وعلى مبدأ مشابه تعمل مبردات الهواء المستخدمة في آلات التبريد الامتصاصية ماء – بروميد الليثيوم.

10 - 12- خصائص وتنظيم آلات التبريد الامتصاصية:

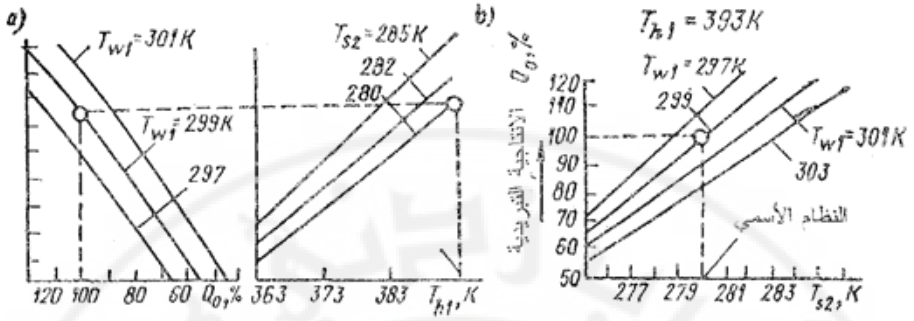
إن علاقة الإنتاجية التبريدية بدرجة حرارة مياه التبريد والتسخين (أو ضغط البخار المشبع) وبدرجة حرارة المصدر المبرِّد تسمى خصائص (مواصفات) آلة التبريد الامتصاصية.

بالإضافة إلى علاقة الإنتاجية التبريدية بالبارامترات المذكورة هناك خصائص إضافية للآلة تعكس علاقة الإنتاجية التبريدية بمصروف المصادر الخارجية وبالمؤشرات الأخرى (كثافة ترطيب أنابيب وعاء الامتصاص، والمبخر، والمولد، ونسبة تدوير المحلول وبارامترات داخلية أخرى للدورات).

إن مواصفات الآلة ضرورية من أجل تحليل فعالية عملها في أنظمة تختلف عن النظام الاسمي وتقييم تأثير البارامترات المستقلة على الإنتاجية وذلك من أجل الاختيار الصحيح للآلة عند تخطيط محطات التبريد لمنشآت محددة، لأنه عند إنجاز المقارنة الاقتصادية – الفنية للأنواع المختلفة لآلات التبريد فإن توافر المواصفات يعدّ أحد الشروط الأساسية اللازمة لذلك.

الشكل (23 - 12) يبين المواصفات النسبية لآلة التبريد الامتصاصية ماء –بروميد الليثيوم. بمساعدة هذه الخصائص يمكن أن نحدد معدل زيادة أو نقصان الإنتاجية التبريدية للآلة(%) نسبة إلى القيمة الاسمية والتي تعدّ (100%).

من الخصائص الموضحة ينتج أن الإنتاجية التبريدية للآلة تتعلق بشكل كبير بتغير درجة حرارة المياه المبرِّدة T_{S_2} عند الخروج من المبخر وبتغير درجة حرارة مياه التبريد T_{W_1} على مدخل وعاء الامتصاص. تغير درجة حرارة مياه التسخين T_{h_1} على مدخل المولد يبدي تأثيراً أقل في تغير الإنتاجية التبريدية بالمقارنة مع تأثير درجات الحرارة المذكورة أعلاه T_{S_2} و T_{W_1}.



الشكل (23 - 12) الخصائص النسبية لآلة التبريد الامتصاصية ماء – بروميد الليثيوم عند تسخين المولد بالبخار أو الماء الساخن (a) وعند التسخين بالماء (b) في مجال درجات حرارة k(363-393).

عند توافر مصادر تسخين بدرجة حرارة c°(150÷140) أو أعلى يكون أكثر ملائمة ترموديناميكياً تحقيق دورات آلة التبريد الامتصاصية الماء – بروميد الليثيوم للحصول على البرودة بإجراءات توليد على مراحل، وبالتالي يرتفع المعامل الحراري. عند ذلك فإن المحلول يتبخر بالتتالي في مرحلتين أو أكثر للمولد إذ يتغير الضغط من قيمة أعلى في المرحلة العلوية إلى قيمة أخفض وتحدد بدرجة حرارة مياه التبريد.

مسألة 1

لدينا آلة تبريد امتصاصية بسيطة عاملة على محلول (الأمونيا–الماء) دارتها مبنية على الشكل a وتعمل ضمن الشروط التالية:

– ضغط بخار الماء الذي يقوم بتسخين المولد P = 5.886 bar

– درجة حرارة مياه التبريد (في وعاء الامتصاص والمكثف) T_{W_1} =293 k°.

– درجة حرارة وسيط التبريد الثانوي الذي يبرد في المبخر T_{S_2} =263 k°.

احسب:

أ– نسبة التدوير للمحلول (f).

ب– الحرارة المصروفة في المولد q_G.

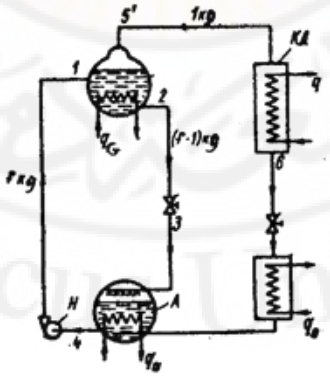
ج– حرارة التكاثف q.

د– حرارة التبخر q_o

هـ– حرارة الامتصاص q_a

و– المردود الحراري

ز– عمل المضخة



الشكل a

الحل:

حتى نتمكن من حل المسألة يجب القيام بتحديد المعطيات التالية استناداً للمعلومات المعطاة في المسألة:

1- من جداول البخار المشبع عن الضغط 5.886 bar نوجد درجة حرارة بخار التسخين وتساوي T=430 k°.

2- أعلى درجة حرارة غليان للمحلول في المولد:

$$T_2 = T - \Delta T = 430 - 7 = 423\ k°$$

إذ افترضنا أن الفرق ما بين درجة حرارة المحلول في المولد ودرجة حرارة بخار التسخين 7°c.

3- أخفض درجة حرارة للتكاثف تختارها أعلى من درجة حرارة مياه التبريد بـ 5°c أي:

$$T_k = 293 + 5 = 298°c$$

4- نختار قيمة ضغط التكاثف عند قيمة مساوية ضغط التكاثف للأمونيا النقية عند أخفض درجة حرارة تكاثف أي عند الدرجة T_k=298k°.

حيث نجد من جداول الأمونيا أن $P_k = 10.006$ bar.

5- نختار أخفض درجة حرارة للمحلول في وعاء الامتصاص أعلى من درجة حرارة مياه التبريد بـ 5 درجات، أي:

$$T_4 = T_{W_1} + \Delta T = 293 + 5 = 298k°$$

6- أعلى درجة حرارة غليان في المبخر:

$$T_8 \approx T_{S_2} = 263k°$$

7- أخفض درجة حرارة في المبخر: $T_o = T_7 = T_{S_2} - \Delta T$

$$T_o = 263 - 4 = 259k°$$

8- الضغط في المبخر ووعاء الامتصاص:

$$P_o = P'_o - \Delta P_o = 2.466 - 0.504 = 1.962 bar$$

إذ: P'_o : الضغط الاشباعي لأبخرة الأمونيا عند ،ندرجة $T_o = 259k°$

على مخطط (ξ-i) لمحلول الأمونيا مع الماء نجد بارمترات النقاط الأساسية للدورة.

إذ نرتبها في الجدول التالي:

$$f = \frac{\xi_d - \xi_a}{\xi_r - \xi_a} = \frac{0.878 - 0.105}{0.415 - 0.105} = 2.494 kg/kg$$

ب- $q_G = i_{5'} - i_2 + f(i_2 - i_4)$

$= 1657.14 - 561.46 + 2.494\ (561.46 + 142.46)$

$= 2851.29$ kj/kg

ج- $q = i_{5'} - i_6 = 1657.14 - 20.95 = 1636.19$ kj/kg

د- $q_o = i_8 - i_6 = 609.64 - 20.95 = 588.69$ kj/kg

هـ- $q_a = i_8 - i_2 + f(i_2 - i_4)$

$= 609.64 - 561.46 + 2.494\ (561.46 + 147.46) = 1816.25$

الموازنة الحرارية للدارة:

$q_G + q_o = 2851.29 + 588.69 = 3439.98$ kj/kg

$q + q_a = 1636.19 + 1816.25 = 3452.44$ kj/kg

و- المعامل الحراري للدورة:

$$\zeta = \frac{q_o}{q_G} = \frac{588.69}{2851.29} = 0.206$$

ز- عمل المضخة:

$W_H = v \cdot f(P - P_o)$

$= 0.00117 \times 2.494 \times (10.006 - 1.962) \times 10^5 = 2.347$ kj/kg

إذ v: الحجم النوعي للمحلول الغني ويتحدد بالعلاقة:

$$v_r = \frac{0.001}{1 - 0.35\xi_r} = \frac{0.001}{1 - 0.35 \times 0.415}$$

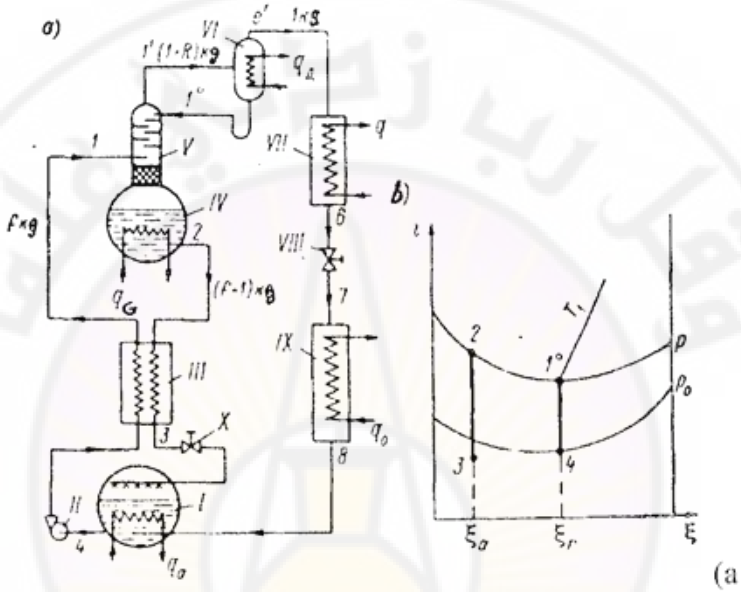
جدول النقاط الأساسية للدورة

النقطة	T, K	$P, MP.a$	$\xi, kg/kg$	$i, kj/kg$
السائل:				
2- في حالة السائل بعد المولد	$T_2 = 423$	$P = 1.0006$	$\xi_a = 0.105$	$i_{2^o} = 561.46$
4- حالة السائل بعد وعاء الامتصاص	$T_4 = 298$	$P_o = 0.1962$	$\xi_r = 0.415$	$i_{4^o} = -142.46$
1- بداية الغليان في المكثف	$T_1 = 352$	$p = 1.0006$	$\xi_r = 0.415$	$i_{1^o} = 111.04$
6- بعد المكثف	$T_6 = 298$	$P = 1.0006$	$\xi_d = 0.878$	$i_{6^o} = 20.95$
8- في نهاية الغليان بالمبخر	$T_8 = 263$	$P_o = 0.1962$	$\xi_s = 0.726$	$i_{8^o} = -228.36$
الأبخرة:	$T_1 = 352$	$P = 1.0006$	$\xi_{1'} = 0.970$	$i_{1'} = 1470.69$
1- المتوازنة مع المحلول الغني في المولد	$T_2 = 423$	$P = 1.0006$	$\xi_{2'} = 0.535$	$i_{21} = 561.46$
2- المتوازنة مع المحلول الفقير في المولد	$T_8 = 263$	$P_o = 0.1962$	$\xi_d = 0.878$	$i_8 = 561.46$
8- في نهاية الغليان في المبخر	$T_{5'} = 385$	$P = 1.0006$	$\xi_d = 0.878$	$i_{5'} = 561.46$
5`- الخارجة من المولد عند:				

$$\xi_m = \frac{\xi_a + \xi_r}{2} = \frac{0.105 + 0.415}{2} = 0.260 kg/kg$$

مسألة 2

لدينا آلة تبريد امتصاصية عاملة على محلول (أمونيا – ماء) دارتها مبينة على الشكل المجاور:



مخطط الآلة، b) الإجراءات على الطور السائل للمحلول في مخطط i-ξ

I– وعاء امتصاص، II– مضخة المحلول الفقير، III– مبادل حراري

IV– المولد، V– مقطر، VI– دفلكماتور، VII– المكثف

VII– صمام خنق المادة العاملة، IX– المبخر، X– صمام خنق المحلول

احسب: f , R , q_d , q_G , q_T , q , q_o , q_r , ζ

شروط عمل الآلة هي شروط العمل نفسها التي تعمل عندها الآلة الامتصاصية البسيطة في المسألة السابقة.

الحل:

نحدد مقاسات النقاط كما في الجدول التالي:

النقاط	T , K°	P, bar	ξ, kg/kg	i, kj/kg
للسائل: - بعد المولد - بعد وعاء الامتصاص - بعد المكثف - في المولد (بداية الغليان) للبخار: - بعد المولد - بعد الدفلكماتور - البخار المشبع عند أخفض درجة حرارة غليان في المبخر	$T_2 = 423$ $T_4 = 298$ $T_6 = 298$ $T_{1^\circ} = 346.5$ $T_{1'} = 346.5$ $T_{c'} = 308$ $T_{8'} = 263$	$P = 1.0006$ $P_o = 0.2354$ $p = 1.0006$ $P = 1.0006$ $P = 1.0006$ $P = 1.0006$ $P_o = 0.2354$	$\xi_{s1} = 0.105$ $\xi_{sr} = 0.446$ $\xi_{c'} = 0.997$ $\xi_r = 0.446$ $\xi_{1'} = 0.976$ $\xi_{c'} = 0.997$ $\xi_k = 1.000$	$i_2 = 561.46$ $i_4 = -146.65$ $i_6 = 115.22$ $i_{1^\circ} = 79.61$ $i_{1'} = 1449.7$ $i_{c'} = 1319.0$ $i_k = 1262.0$

نسبة التدوير :

$$F = \frac{\xi_{c'} - \xi_{st}}{\xi_r - \xi_{st}} = \frac{0.997 - 0.105}{0.446 - 0.105} = 2.61 \text{ kg/kg}$$

كمية السائل العائد من الدفلكماتور إلى المولد:

$$R = \frac{\xi_{c'} - \xi_{1'}}{\xi_{1'} - \xi_r} = \frac{0.997 - 0.976}{0.976 - 0.446} = 0.0396 \text{ kg/kg}$$

كمية الحرارة المطروحة إلى الوسط الخارجي:

$$q_D = (1 + R)i_{1'} - i_{c'} - Ri_{1^\circ} = (1+0.0396) - 1449.74 - 1319.01 - 0.0396 \times 79.61$$
$$= 184.99 \text{ kJ/kg}$$

كمية الحرارة المعطاة في المولد:

$$q_G = i_{c'} - i_2 + f(i_2 - i_{1^\circ}) + q_D = 1319.01 - 561.46 + 2.61(561.46 - 79.61) + 184.99$$
$$= 2200.17 \text{ kJ/kg}$$

كمية الحرارة المتبادلة في المبادل الحراري :

$$q'_T = f(i_{1^\circ} - i_4) = 2.61(79.61 - 146.56) = 590.54 \text{ kJ/kg}$$

انتالبي المحلول الفقير بعد المبادل الحراري:

$$i'_3 = i_2 - \frac{q_T}{f-1} = 561.46 - \frac{590.54}{2.61-1} = 195 kj/kg$$

$T_3 = 339.5 \text{ k}^\circ$

$q = i_{c'} - i_6 = 1319.01 - 115.22 = 1203.79 \text{ kj/kg}$

$q_o = i_8 - i_6 = 1235.37 - 115.22 = 1120.15$ kj/kg

إذ:

$$i_8 = i_k - \frac{1}{k}(\xi_k - \xi_{c'})$$

$$i_8 = 1262.02 - \frac{1}{0.0001126}(1 - 0.997) = 1235.37 kj/kg$$

$q_a = i_8 - i_3 + f(i_3 - i_4)$

$q_a = 1235.37 - 194.67 + 2.61\ (194.67 + 146.65) =$

$= 1931.54$ kj/kg

$$\zeta = \frac{q_o}{q_G} = \frac{1120.5}{2200.17} = 0.509$$

نوجد مباشرة للشروط نفسها الواردة في المسألة الأولى من المخطط ζ-i قيم:

q_o , q_G , q_a , q , q_D , q_T

$q_G = \overline{Do} = 2200.17 kj/kg$

$q_a = \overline{8o} = 1931.54 kj/kg$

$q = \overline{e'6} = 1203.79$kj / kg

$q_o = \overline{86} = 1120.15$kj / kg

$q_D = \overline{Dc'} = 184.99$kj / kg

$q_1 = \overline{OT} = 590.54$kj / kg

الموازنة الحرارية:

الحرارة المقدمة:

$q_o + q_G = 1120.15 + 2200.17 = 3320.32$ kj/kg

الحرارة المطروحة:

$q_a + q + q_D = 1931.54 + 1203.79 + 184.99 = 3320.32$ kj/kg

المعامل الحراري:

$$\zeta = \frac{q_o}{q_G} = \frac{1120.15}{2200.17} = 0.505$$

ملاحظات على الشكل C:

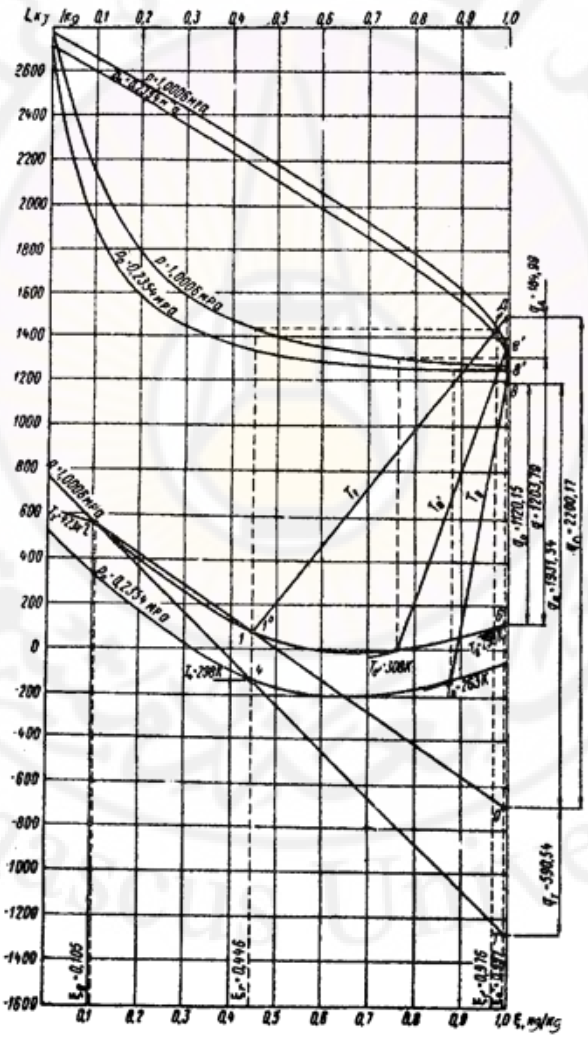
النقطة o تنتج عن تقاطع الايزوترم T_1 مع خط $I - \xi$

النقطة `e: نقطة تقاطع الخط ξ=1 مع المستقيم الافقي المنشأ من نقطة تقاطع الايزوتـــرم T_c مع خط الضغط.

النقطة `8: نقطة تقاطع خط الضغط مع ξ=1.

النقطة 8: نقطة تقاطع الايزوترم T_8 مع المستقيم $\xi_o = 0.997$.

النقطة `1: نقطة تقاطع الايزوترم T_1 مع خط الضغط $P = 10.006$ bar.



الشكل (c) تمثيل عمل الآلة على مخطط (i-ξ)

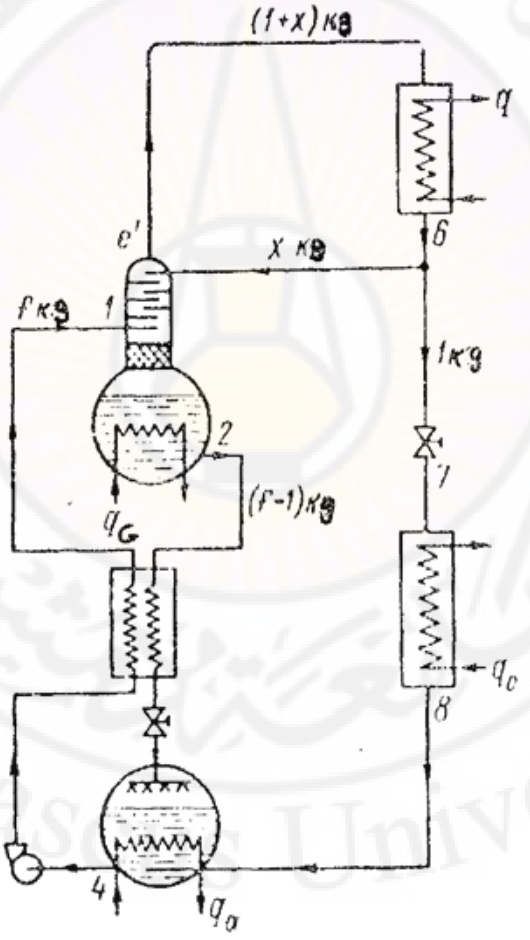
مسألة 3

لدينا آلة تبريد امتصاصية (أمونيا – ماء) الشكل a.

أجري الحسابات الحرارية اللازمة لهذه الدارة علماً بأن شروط العمل الأولية هي الشروط نفسها الواردة في المسألة الأولى وعلى اعتبار أن:

$$i_e = 1288kj/kg, \xi_e = 1kg/kg, T_e = T_6$$

وبفرض أنه يمر في المبخر أمونيا نقية لذلك تؤخذ درجة حرارة الغليان من جداول الأمونيا (عند $P_o = 2.466bar$ يكون $T_o = 259k°$).



الشكل (a) مخطط آلة التبريد الامتصاصية

الحل:

نقوم أولاً بتحديد مقاسات النقاط الأساسية للدورة حيث ترتب المقاسات المحددة في الجدول التالي:

النقطة		T (K°)	P (bar)	ξ (kg/kg)	i (kj/kg)
للسائل	- بعد المولد	$T_2 = 423$	$P = 10.006$	$\xi_{s'} = 0.105$	$i_2 =$ 561.45
	- بعد المبادل	$T_3 = 303$	$P = 10.006$	$\xi_a = 0.105$	$i_3 = -37.71$
	- بعد وعاء الامتصاص	$T_4 = 298$	$P_o = 2.466$	$\xi_r = 0.455$	$i_4 =$ - 146.65
	- بعد المكثف	$T_6 = 298$	$P = 10.006$	$\xi_{s'} = 1$	
	- في بداية الغليان بالمولد	$T_{10} = 345$	$P = 10.006$	$\xi_r = 0.455$	
للبخار	- بعد المولد	$T_1 = 345$	$P = 10.006$	$\xi_{r'} = 0.977$	$i_6 =$ 117.32
	- بعد المقطر	$T_5 = 298$	$P = 10.006$	$\xi_s = 1$	$i_{10} = 67.04$
	- بعد المبخر	$T_8 = 259$	$P_o = 2.466$	$\xi_r = 1$	$i_1 =$ 1441.36
					$i_5 = 1288$
					$i_8 =$ 1248.62

$$f = \frac{\xi_{s'} - \xi_a}{\xi_r - \xi_a} = \frac{1 - 0.105}{0.455 - 0.105} = 2.557 kg/kg$$

درجة حرارة المحلول الفقير الخارج من المبادل الحراري:

$T_3 = T_4 + \Delta T = 298 + 5 = 303$ k°

$\xi_a = 0.105$ kg/kg , $i_{3'} = 37.71$ kj/kg

الحرارة التي يفقدها المحلول الفقير في المبادل الحراري:

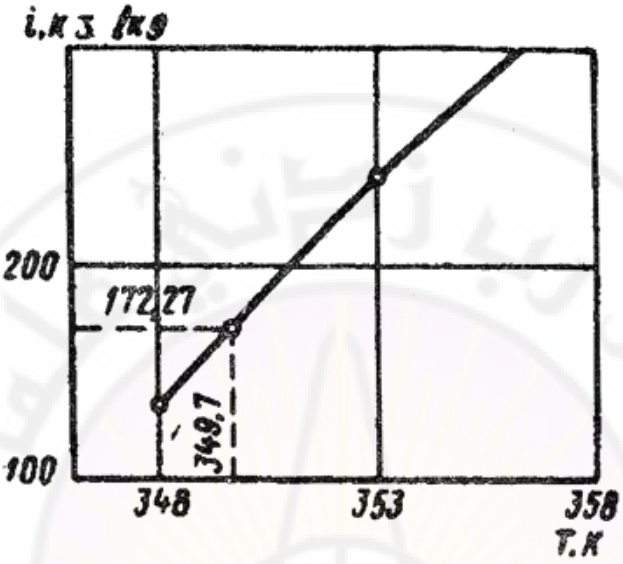
$q_T = (f - 1)(i_2 - i_3)$

$= (2.557 - 1) . (561.46 - 37.7) = 815.48$ kj/kg

انتالبي المحلول الغني بعد المبادل الحراري:

$$i_1 = i_4 + \frac{q_T}{f} = -146.65 + \frac{815.48}{2.554} = 172.64 kj/kg$$

يمكن تحديد درجة حرارة المحلول الغني عند خروجه من المبادل الحراري من المخطط (i-ξ) أو من المخطط البياني للتابع $i = f(t)$ (الشكل b).



الشكل (b) - i = f (t)

من الشكل نحصل على: $T_1 = 349.7\ k°$

نحسب R:

$$R = \frac{\xi_{c'} - \xi_{1'}}{\xi_{1'} - \xi_r} = \frac{1 - 0.977}{0.977 - 0.455} = 0.044 kg/kg$$

$q_p = (1 + R)\, i_{1'} - i_{e'} - R \cdot i_{1°}$

$= (1 + 0.044)$ ý× $1441.36 - 1288 - 0.044 \times 67.04$

$= 213.83$ kj/kg

$q_G = i_{e'} + f(i_2 - i_1) = i_2 + q_p$

$q_G = 1288 + 2.557\,(561.45 - 172.27) - 561.45 + 213.83$

$= 1935.66$ kj/kg

$q_a = i_8 - i_3 + f(i_3 - i_4)$

$= 1248.62 - 37.71 + 2.557\,(37.71 + 146.65) = 1682.32$ kj/kg

الحرارة المطروحة في المكثف من أجل 1 kg:

$q` = i_{c`} - i_6 = 1288 - 117.32 = 1170.68$ kj/kg

كمية السائل المأخوذة من المكثف إلى المقطر:

$$x = \frac{q_p}{q'} = \frac{213.83}{1170.68} = 0.18266 kg/kg$$

الحرارة المطروحة في المكثف من أجل (1 + x) kg

$q = (1 + x) . (i_{c`} - i_6)$

$= (1 + 0.18266) . (1288 - 117.32) = 1384.64$ kg/kg

$q_o = i_8 - i_6 = 1248.62 - 117.32 = 1131.3$ kj/kg

الموازنة الحرارية:

$q_o + q_G = 1384.64 + 1682.32 = 3066.96$ kj/kg

$q + q_a = 1384.64 + 1682.32 = 3066.96$ kj/kg

المعامل الحراري للدورة:

$$\zeta = \frac{q_o}{q_G} = \frac{1131.3}{1935.66} = 0.584$$

مسألة 4

أجر الحسابات الحرارية اللازمة لآلة التبريد الامتصاصية (بروم الليثيوم – ماء) والمبينة دارتها في الشكل A إذا علمت المعطيات التالية:

- درجة حرارة الماء الساخن $T_h = 350$ k°
- درجة حرارة الماء البارد $T_W = 298$ k°
- درجة حرارة المياه المبردة في المبخر $T_s = 280$ k°، $\Delta T = 8$°c.

الحل:

- درجة الحرارة العظمى للمحلول ضمن المولد.

$T_4 = T_h - \Delta T = 350 - 8 = 342$ k°

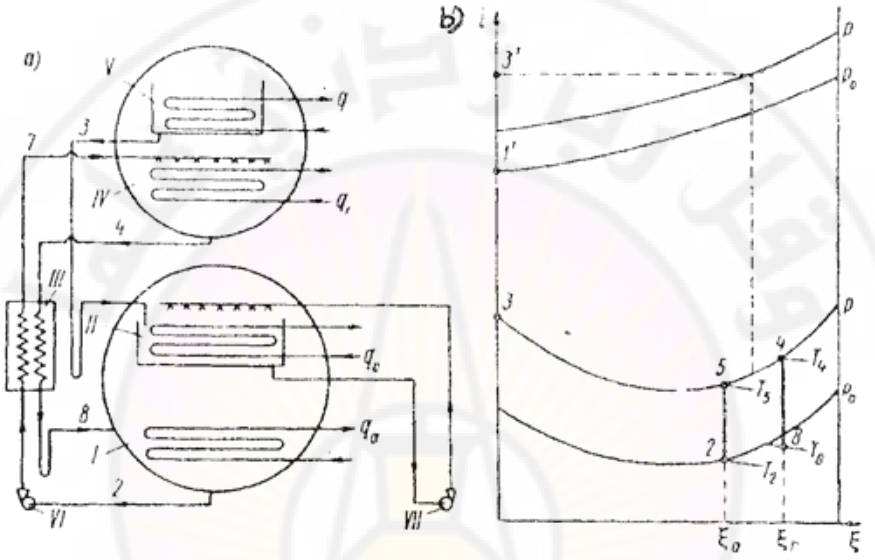
- درجة حرارة التكاثف:

$T = T_W + \Delta T = 298 + 5 = 303$ K°

ومنه يكون ضغط التكاثف $P = 0.004241$ (Mpa).

- أخفض درجة حرارة في وعاء الامتصاص:

$$T_2 = T_W + \Delta T = 298 + 5 = 303\ k°$$



الشكل A آلة التبريد الامتصاصية a) مخطط الآلة

I- وعاء الامتصاص، II- مبادل حراري، IV- المولد، V- المكثف، VI- مضخة المحلول، VII- مضخة ماء.

b) التمثيل البياني لعمل الدورة على مخطط (ξ-i).

- درجة حرارة غليان الماء في المبخر:

$$T_o = T_s - \Delta T = 280 - 3 = 277\ k°$$

ومنه نحدد ضغط التبخر عند $T_o = 277K°$ فنجد $P_o = 0.0008129\ Mpa$.

- الضغط في وعاء الامتصاص: $P_a = P_o - \Delta P$

$$= 0.0008129 - 0.0000129 = 0.0008\ (M.P_a)$$

- درجة حرارة المحلول الغني عند الخروج من المبادل الحراري:

$$T_8 = T_2 + \Delta T = 303 + 5 = 308\ K°$$

بتحديد قيم مقاسات نقاطات الدورة الأساسية يمكن ترتيب الجدول التالي إذ نفترض أن اختلاف تركيز المحلول في وعاء الامتصاص عن القيمة الاشباعية يساوي $\Delta\xi_a = 0.2\%$. ومنه تكون قيمة تركيز المحلول الفقير لدى خروجه من وعاء الامتصاص:

$$\xi_a = \xi'_a + \Delta\xi_a = 52.2 + 0.2 = 52.4\ \%$$

النقطة	T (K°)	P (bar)	ξ (kg/kg)	i (kj/kg)
السائل :				
- بعد المكثف	$T_3 = 303$	$P = 0.0042$	$\xi = 0$	$i_3 = 543.86$
- المحلول الغني بعد المولد	$T_4 = 342$	$P = 0.0042$	$\xi_r = 59.4$	$i_4 = 319.28$
- المحلول الفقير بعد وعاء الامتصاص	$T_2 = 303$	$P_a = 0.0008$	$\xi_a = 55.4$	$i_2 = 243.44$
	$T_8 = 308$	$P = 1.0042$	$\xi_r = 59.4$	$i_8 = 254.75$
- المحلول الغني بعد المبادل الحراري	$T_5 = 334$	$P = 0.0042$	$\xi_a = 55.4$	$i_5 = 305.87$
- المحلول الفقير في بداية الغليان في المولد			$\xi = 0$	
	$T_8 = 338$	$P = 0.0042$	$\xi = 0$	$i_8 =$
البخار :	$T_1 = 227$	$P_o = 0.0008$		3043.62
- بعد المولد.				$i_1 =$
- بعد المبخر				2929.23

- نسبة توزيع المحلول:

$$f = \frac{\xi_r}{\xi_r - \xi_a} = \frac{59.4}{59.4 - 52.4} = 14.85 kg/kg$$

- الحرارة المطروحة في المبادل الحراري:

$$q_T = (f - 1)(i_4 - i_8)$$
$$q_T = (14.85 - 1)(319.28 - 254.75) = 893.74\ kj/kg$$

- حالة المحلول الفقير بعد المبادل الحراري:

$$i_7 = i_2 + \frac{q_T}{f} = 243.44 + \frac{893.74}{14.86} = 303.62 kj/kg$$

- "حرارة المقدمة في المولد:

$$q_G = i_3 + (f - 1)\, i_4 - f \cdot i_7$$
$$= 3043.62 + (14.85 - 1) \times 319.28 - 14.85 \times 303.62 =$$
$$= 2956.89\ kj/kg$$

- الحرارة المطروحة في المكثف:

$$q = i_3 - i_3 = 3043.62 - 543.86 = 2499.76\ kj/kg$$

- الحرارة الممتصة في المبخر:

$q_o = i_{1'} - i_3 = 2929.23 - 543.86 = 2385.37$ kj/kg

- الحرارة المطروحة من وعاء الامتصاص:

$q_o = i_{1'} - i_8 + f(i_8 - i_2)$

$= 2929.23 - 254.75 + 14.85 (254.75 - 243.44) =$

$= 2842.43$ kj/kg

- الموازنة الحرارية للآلة:

$\Sigma q_1 = q_T + q_o = 2956.89 + 2385.37 = 5342.26$ kj/kg

$\Sigma q_2 = q + q_a = 2499.76 + 2842.43 = 5342.19$ kj/kg

- المعامل الحراري:

$$\zeta = \frac{q_o}{q_G} = \frac{2385.37}{2956.89} = 0.8$$

Damascus University

الفصل الثالث عشر

تمييع الغازات

13 - 1 تمييع الهواء Liquefaction of air:

كان يستخدم النظام التسلسلي بنجاح من أجل تمييع الغازات، ولكن من أجل تمييع الغازات المختلفة تستخدم بشكل عام فعالية جول-طومسون نتيجة لقلة تكاليفها. في الوقت الحاضر يستخدم الأكسجين السائل بشكل عام كمؤكسد في نظام الدفع الصاروخي والغاز الطبيعي (بشكل سائل) كوقود. النتروجين السائل يستخدم أيضاً في العديد من العمليات الصناعية.

13 - 1 - 1 نظام ليند Linde System :

ويعرف أيضاً بنظام هامبسون (Hampson System) وقد تم تطويره من قبل ليند في ألمانيا عام ١٨٩٥ . مخطط العمل موضح على الشكل (1 - 13) ويشمل نظام تبريد ومبردٌ أولياً.

يعمل النظام البسيط كالتالي : يؤخذ الهواء النظيف من الجو المحيط ويضغط في ضاغط حتى 200 at . الهواء ذو الضغط العالي يدخل إلى مبادل حراري متواز متعاكس (هواء-هواء) وبعد ذلك يخنق ويتمدد حتى الضغط الجوي.

يؤدي التبريد وفق فعالية جول-طومسون عند التمدد إلى انخفاض درجة الحرارة، والهواء البارد هذا يمرر عبر المبادل الحراري ويبرّد الهواء القادم العالي الضغط.

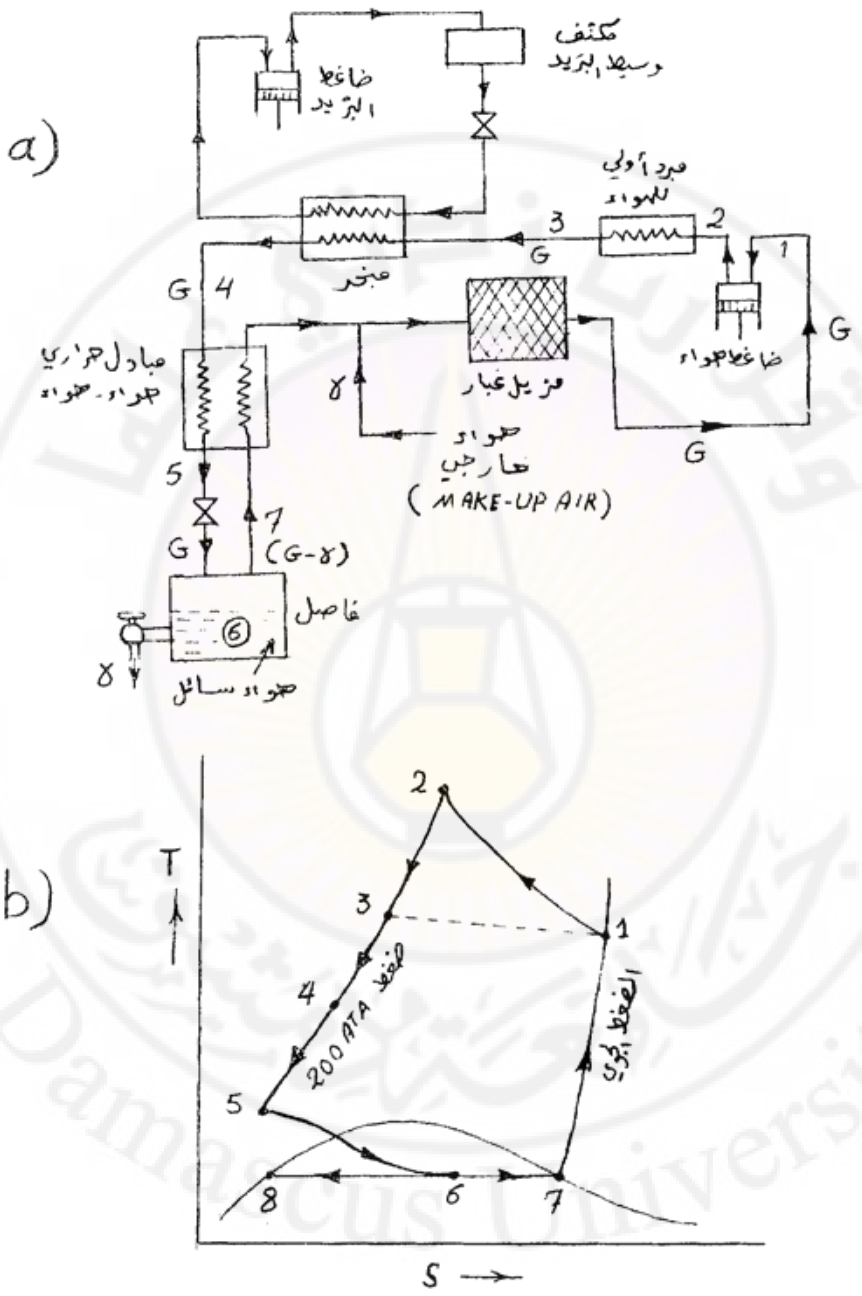
هكذا فإن درجة الحرارة في الصمام تنخفض بالتدريج حتى الوصول إلى درجة حرارة التمييع.

عملياً يزداد مردود الدورة بإضافة مبرد أولي ومبخر كما هو موضح على الشكل (13 - 1 - a).

الإجراءات في الدورة الفعلية هي كالتالي :

(1 - 2) ← الإجراء الفعلي للانضغاط في الضاغط مع اعتبار المردود الاديباتي.

(2 - 3) ← تبريد الهواء في المبرد الأولي.



الشكل (1 - 13) نظام لِيند

(4 - 3) ← تبريد الهواء في مبخر نظام التبريد.

(5 - 4) ← التبريد النهائي للهواء ذي الضغط العالي في المبادل الحراري (هـواء-هـواء) باستخدام الهواء ذو درجة الحرارة المنخفضة والضغط المنخفض القادم من الفاصل.

(6 - 5) ← خنق الهواء.

(٨) ← حالة الهواء المميع.

(٧) ← حالة الهواء غير المميع.

ليكن G وزن الهواء ذا الضغط العالي المار عبر المبادل الحراري (هواء-هواء)، و (G-γ) وزن الهواء ذو درجة الحرارة المنخفضة والضغط المنخفض، و γ وزن الهواء المميع في الفاصل.

في المبادل الحراري يبرد (G Kg) هواء من الحالة 4 إلى الحالة 5 و (G-γ) Kg من الهواء يسخن من الحالة 7 إلى الحالة 1 . هواء بوزن (γ)Kg يؤخذ من الجو.

تحليل نظام لينـد (Analysis of the Linde System)

يمكن إيجاد وزن الهواء الذي يمكن أن يميع من الهواء العالي الضغط القادم من الضاغط باستخدام التحليل التالي :

النقاط (2,1) و (8,7) معروفة على مخطط T-s. بما أن الإجراء (6←5) هو إجراء خنق فإن:

$$i_5 = i_6 \qquad (13\text{-}1)$$

وليكن : G – وزن الهواء العالي الضغط المار خلال المبادل الحراري (هواء-هواء).

γ – وزن الهواء المميع.

باستخدام معادلة التوازن الحراري للمبادل الحراري نجد

$$G(i_4-i_5) = (G-\gamma)(i_1-i_7) \qquad (13\text{-}2)$$

وباستخدام معادلة التوازن الحراري لفاصل الهو ء

$$Gi_6 = \gamma\ i_8 + (G-\gamma)\ i_7 \qquad (13\text{-}3)$$

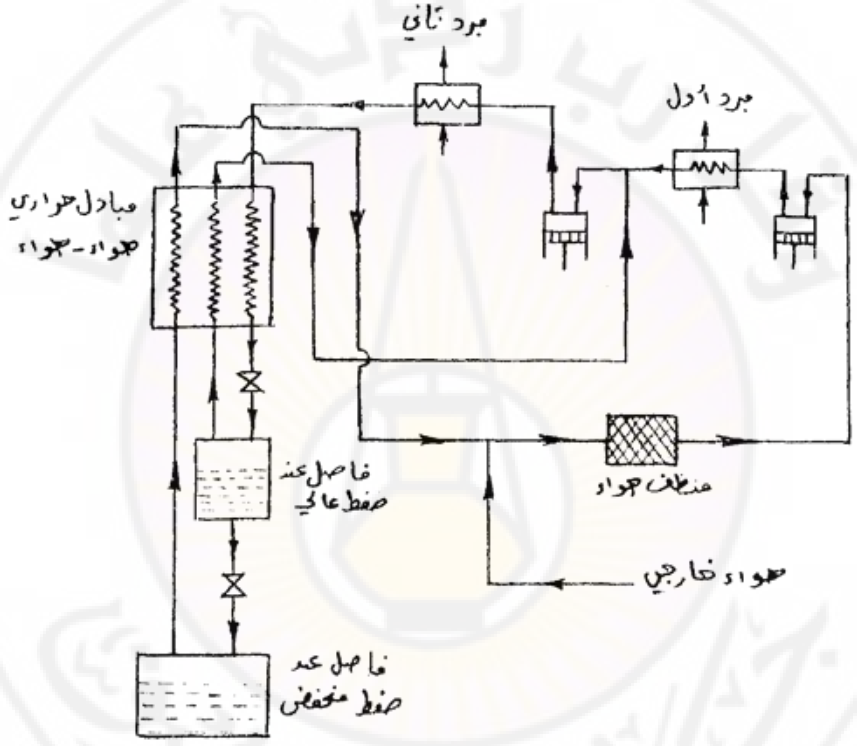
إذا كانت G=1 فإن المعادلتين (2-13) و (3-13) تصبحان بالشكل التالي :

$$i_4-i_5 = (1-\gamma)(i_1-i_7) \qquad (13\text{-}4)$$

$$i_6 = \gamma\ i_8 + (1-\gamma)\ i_7 \qquad (13\text{-}5)$$

الآن باستخدام هاتين المعادلتين يمكن بسهولة إيجاد الجزء المميع من الهواء بعملية ليند.

يمكن زيادة المردود بوساطة إجراءات ليند للتمييع الثنائي الضغط، إذ الجزء الأكبر من الهواء الدائر يخنق من الضغط (200 at) إلى الضغط (40 at) ويعاد عبر المبادل الحراري إلى المرحلة الثانية للضاغط كما هو مبين في الشكل (2 - 13).



الشكل (2 - 13) نظام ليند ثنائي الضغط

2 - 1 - 13 - نظام كلاود Claude System :

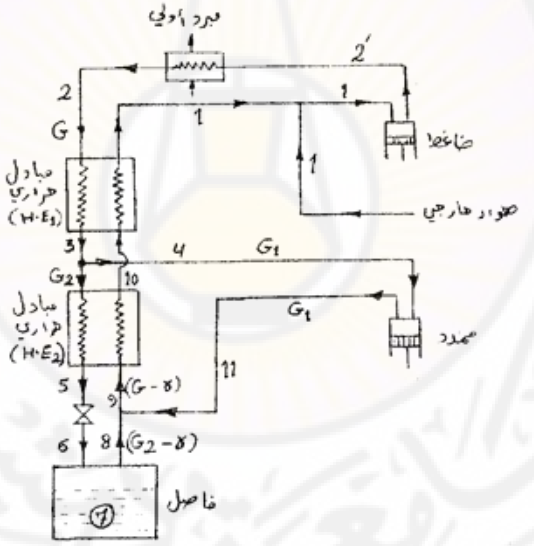
إن تمدد الغاز في الممدد يؤدي إلى انخفاض في درجة الحرارة أكبر منه عند التمدد في صمام الخنق.

إن نظام كلاود لتمييع الهواء يستخدم هذا المبدأ وينتج مردود أفضل منه في نظام ليند.

في هذه الإجراءات يتمدد جزء كبير من الهواء في الممدد، إذ تنقل الطاقة الناتجة إلى الضاغط لضغط الهواء القادم. هكذا فإن الطاقة المأخوذة من تمدد الهواء تمثل زيادة في التبريد الناتج في الدورة.

الشكل (a - 3 - 13) يبين مخطط الدورة والشكل (b - 3 - 13) يبين تمثيلها على مخطط (T- s) .

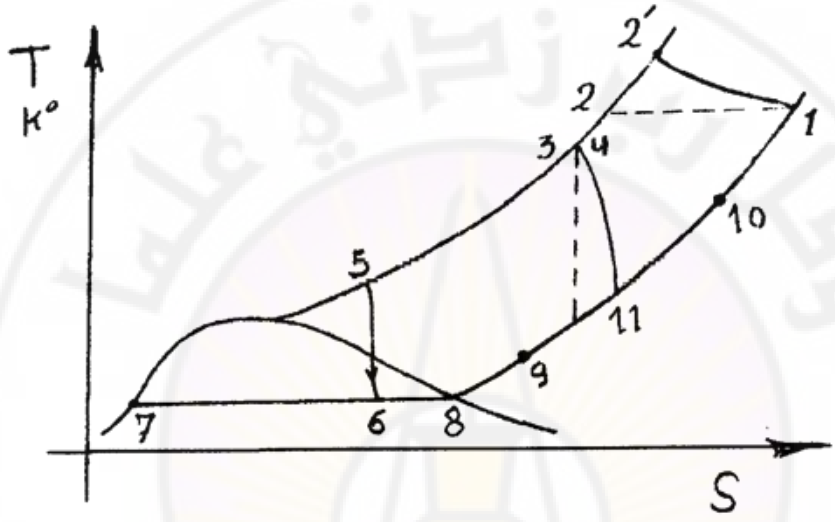
إن قسماً من الهواء (النقطة 3) يؤخذ ويمدد في الممدد. الهواء ذو درجة الحرارة المنخفضة (النقطة 11) يختلط مع الهواء القادم من الفاصل ويؤدي إلى زيادة التدفق الكتلي (النقطة 9) . درجة حرارة الهواء قبل صمام التمدد يمكن أن تكون في نظام كلاود أخفض منها في نظام ليند.



الشكل (a - 3 - 13) نظام كلاود

إن محاسن نظام كلاود هي : العمل بنسبة انضغاط أقل بالمقارنة مع نظام ليند، درجة حرارة الهواء قبل صمام التمدد تكون أخفض في نظام كلاود منها في نظام ليند.

من الناحية العملية فإن العمل الناتج عن الممدد لا يستخدم بسبب صعوبة التحكم، التمدد داخل منطقة السائل بالممدد غير عملي بسبب صعوبات التشغيل الناتجة عن الهواء السائل.



الشكل (b - 3 - 13) تمثيل نظام كلاود في مخطط T- s

تحليل نظام كلاود :

ليكن :

G الوزن الكلي للهواء القادم من الضاغط.

G_1 وزن الهواء الممرر إلى الممدد.

G_2 وزن الهواء القادم إلى الفاصل، ويكون $G_2 = (G - G_1)$

γ وزن الهواء المميع في الفاصل.

G_3 وزن الهواء الخارج من الفاصل، ويكون $G_3 = (G_2 - \gamma)$

الانتالبيات المعروفة هي i_1 , i_2 , i_7 , i_8 , $i_5 = i_6$.

الآن بمعرفة i_3 يمكن معرفة i_{11} بالحساب .

التوازن الكتلي يكون كالتالي :

$$G = G_1 + G_2 \qquad (13\text{-}6)$$

وأيضاً $$G_2 = G_3 + \gamma \qquad (13\text{-}7)$$

الهواء القادم من الممدد بحالة النقطة (11) والهواء القادم من الفاصل (غير مميـــع) بحالة النقطة (8) يختلطان وتمثل الحالة الناتجة عن مزجهما على مخطط T-s بالنقطة (9) ، وبهذا فإن انتالبي النقطة (9) يعطى بالعلاقة :

$$i_9 = \frac{G_1 i_{11} + G_3 i_8}{(G_1 + G_3)} \qquad (13\text{-}8)$$

وباستخدام معادلة التوازن الحراري للمبادل الحراري ($H.E_1$)

$$G\,(i_2 - i_3) = (G - \gamma)\,(i_1 - i_{10}) \qquad (13\text{-}9)$$

ومعادلة التوازن الحراري للمبادل الحراري ($H.E_2$)

$$G_2\,(i_3 - i_5) = (G - \gamma)\,(i_{10} - i_9) \qquad (13\text{-}10)$$

ومعادلة التوازن الحراري للفاصل

$$G_2\, i_6 = \gamma\, i_7 + (G_2 - \gamma)\, i_8 \qquad (13\text{-}11)$$

يمكن إيجاد الوزن G المطلوب للحصول على γ كغ من الهواء السائل.

2 - 13 – تمييع الهيدروجين :

يختلف تمييع الهيدروجين بخاصتين تميزانه عن تمييع النتروجين N_2 والأكسجين O_2 :

١. الغاز يجب أن يبرد إلى ما تحت 170 °K (درجة حرارة الانقلاب الأعظمية قبل إنتـــاج التبريد بالخنق).

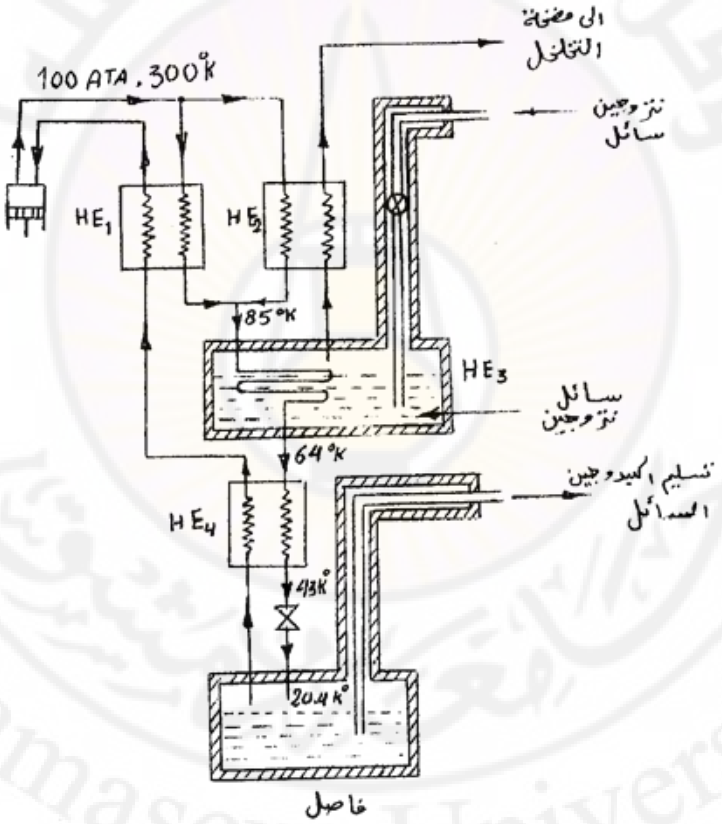
٢. إضافة إلى ذلك جميع المواد تتجمد بدرجات الحرارة المنخفضة جـــداً وعنـــد ذلـــك فـــإن الهيدروجين المستخدم يجب أن يكون نقي تماماً.

الشكل (4 - 13) يبين مخطط تمييع الهيدروجين. الهيدروجين النقي بضغط 120 at يخرج من الضاغط ويدخل إلى المميع ويقسم إلى قسمين يدخل كل منهما إلى مبادل حراري. في المبادل الحراري HE_1 يبرد الهيدروجين الداخل العالي الـــضغط بوســـاطة الهيـــدروجين الخارج المنخفض الضغط، وفي المبادل الحراري HE_2 يبرد بوساطة النتروجين المتبخر فـــي

غرفة التبريد المسبق. الهيدروجين العالي الضغط المتدفق من كلا المبادلين يختلط ويبرد في المبادل الحراري HE_3 المغمور في النتروجين السائل الذي يغلي عند ضغط منخفض.

بالنهاية يدخل الهيدروجين إلى المبادل الحراري HE_4 إذ يبرد بالهيدرجين العائد وغير المميع، بعد ذلك يخنق الهيدروجين إلى ضغط أعلى بقليل من الضغط الجوي ويتم بذلك تمييع الهيدروجين .

يسحب الهيدروجين المميع عبر أنبوب للتسليم.

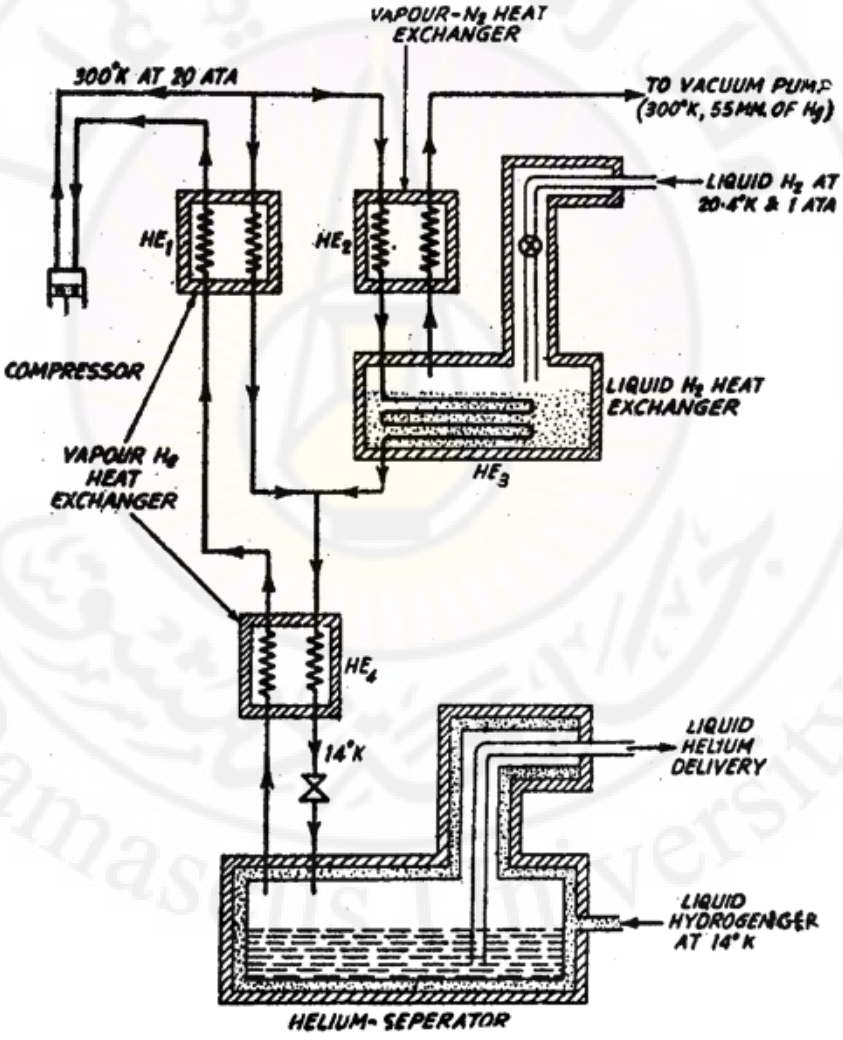


الشكل (4 - 13) تمييع الهيدروجين
(HE = Heat Exchanger)

3 - 13 – تمييع الهيليوم :

الهيليوم مادة تبقى سائلة عند درجة حرارة تحت 14 °K . من بين جميع الغـــازات يصعب جداً تمييع الهيليوم كون درجة حرارة الانقلاب الأعظميه له 40 °K ونقطـــة غليانـــه 4.2 °K .

يضغط الهيليوم حتى 20 at ويدخل إلى المميع كما هو مبين بالشكل (5 - 13).



الشكل (5 - 13) مميع هيليوم جول–طومسون

الهيليوم المتدفق يقسم إلى جزء x يمر عبر المبادل HE_1 إذ يبرد ببخار الهيليوم العائد إلى الضاغط . الجزء المتبقي من الهيليوم (1-x) يرسل إلى المبادل HE_2 إذ يبرد ببخار الهيدروجين وبعد ذلك إلى المبادل HE_3 حيث يبرد بالهيدروجين السائل الذي يغلي عند ضغط مخفض حتى 55 mmHg . درجة حرارة غليان الهيدروجين 14 °K .

جزأي الهيليوم عاليا الضغط يختلطان تحت المبادل HE_3 . عند ذلك الهيليوم العالي الضغط يمرر خلال المبادل HE_4 وعبر صمام الخنق ونحصل عليه سائلاً في الفاصل.

الفصل الرابع عشر

المضخة الحرارية

HEAT-PUMP

14 - 1 – مقدمة :

إن المضخة الحرارية أساساً هي مجموعة تبريد قادرة على استخلاص الحرارة من أي مصدر ذي مستوى حراري منخفض (مصدر ثانوي) مثل الجو، البحر، الأرض ورفع مستوى الحرارة إلى درجة حرارة مفيدة. استخدم العالم لورد كالفن (Lord Kelvin) المضخة الحرارية بنجاح لأغراض التدفئة عام 1852 ولكن نتيجة لانخفاض مردود عناصر الوحدة التبريدية فإنها لم تستخدم لأغراض التدفئة الفعلية.

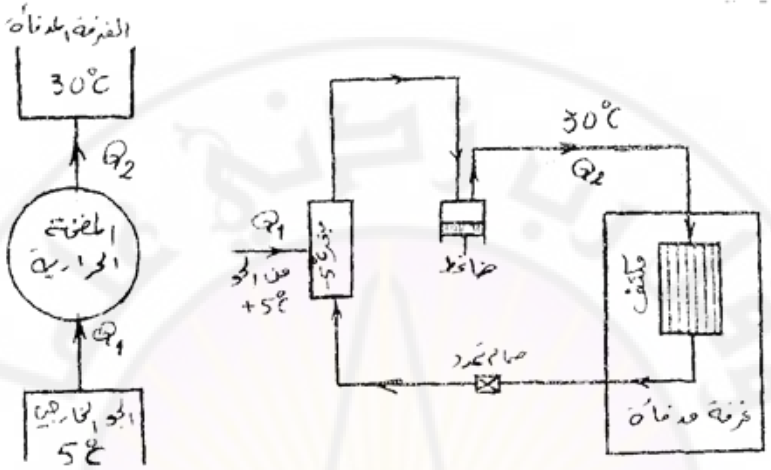
استخدمت المضخة الحرارية فعلياً خلال الحرب العالمية الثانية بنجاح سن قبل المهندسين السويسريين حيث كان استيراد الفحم متوقفاً. في الوقت الحاضر تستخدم المضخة الحرارية بشكل عام في العديد من المجالات ليس فقط من أجل تدفئة المصانع والمنازل ولكن من أجل العديد من الأغراض الصناعية.

14 - 2 – دورة المضخة الحرارية Heat Pump Circuit:

المضخة الحرارية هي بشكل أولي دورة تبريد تستخدم المصادر الحرارية كالجو، البحر والأرض.

الحرارة المأخوذة من هذه المصادر الحرارية الثانوية تعطى إلى المصدر الحراري الأعلى بمساعدة الضاغط والحامل الحراري وتوزع في المكان المطلوب من خلال المكثف في نظام التبريد. نظام التدفئة الذي يستخدم وحدة التبريد موضح بالشكل (1 - 14). وسيط التبريد القادم من صمام التمدد يمتص الحرارة Q_1 من الجو بدرجة حرارة (+5 °C) مثلاً . كمية الحرارة هذه تعطى للمكثف بعد أن يضاف إليها عمل الضاغط وذلك بوساطة وسيط التبريد، وتكون بذلك الحرارة الإجمالية هي : $Q_2 = Q_1 + W$ تطرح في الغرفة من خلال المكثف كما هو موضح في الشكل.

تستخدم دورة وسيط التبريد للتدفئة فقط عندما تكون درجة حرارة الجو أقل من درجة الحرارة المطلوبة للراحة وتعرف عندئذ (بنظام المضخة الحرارية).



الشكل (1 - 14)

يعطى أداء دورة وسيط التبريد عندما تستخدم لأغراض التدفئة من نسبة كمية الحرارة المسلمة (المطروحة) إلى العمل المبذول. تعرف هذه النسبة بنسبة الأداء الفعال (Effective Performance Ratio) أو معامل أداء المضخة الحرارية (معامل التدفئة) وسنرمز له بـ μ ويعطى كالتالي :

$$\mu = \frac{Q_2}{W_1} = \frac{Q_1 + W_1}{W_1} = \frac{Q_1}{W_1} + 1 = \varepsilon + 1$$

١٤ - ١٤ - دارات المضخة الحرارية : Heat Pump Circuits

دارات المضخة الحرارية شائعة الاستخدام هي أربعة أنواع:

١. **مخطط دارة الهواء ــ هواء Air-to-Air :**

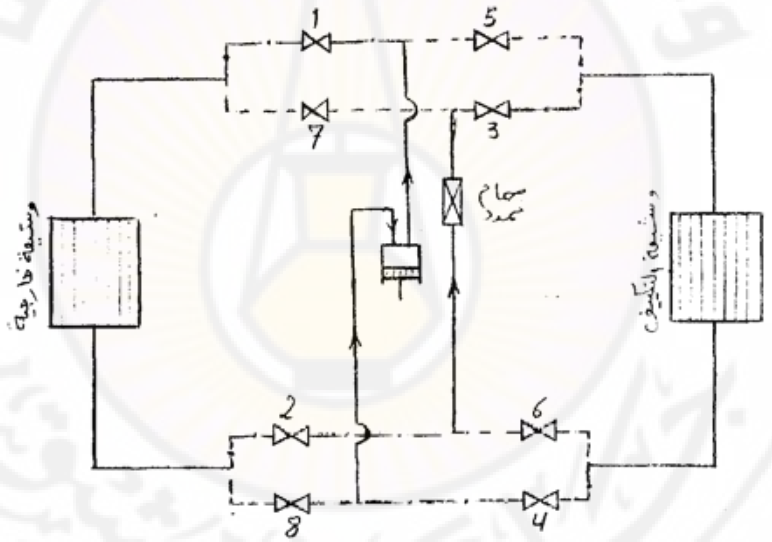
في هذا النظام يستخدم الهواء الجوي كمصدر للحرارة ويستخدم الهواء أيضاً لأخذ الحرارة من المكثف. نظام الهواء ــ هواء يقسم إلى نوعين : المضخة الحرارية بثبات اتجاه تدفق الهواء والمضخة الحرارية بثبات دارة وسيط التبريد.

آ- **المضخة الحرارية بثبات اتجاه تدفق الهواء Fixed Air-Circuit Heat Pump:**

في هذا المخطط لا يتغير اتجاه تدفق الهواء عند عكس الدورة من التدفئة إلى التبريد أو العكس. إن دورة وسيط التبريد من أجل أغ اض التدفئة والتبريد موضحة علـــى الـــشكل (2 - 14).

تؤخذ أثناء دورة التدفئة الحرارة من الهواء الخارجي وتضخ إلى هواء الغرفة ، أما خلال دورة التبريد تؤخذ الحرارة من هواء الغرفة وتضخ إلى الجو.

خلال دورة التدفئة تكون الصمامات 5,6,7,8 مفتوحـــة أمـــا الـــصمامات 1,2,3,4 فتكون مغلقة .



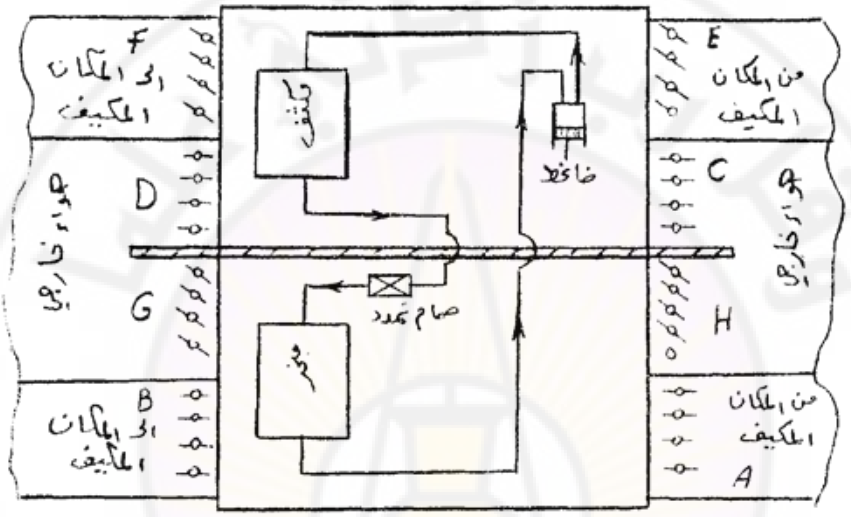
الشكل (2-14)

خلال دورة التبريد تكون الصمامات 1,2,3,4 مفتوحة، أما الصمامات 5,6,7,8 فتكون مغلقة.

ب- **المضخة الحرارية بثبات دورة وسيط التبريد Fixed Refrigerant Circuit :**

في مثل هذا المخطط (الشكل 3 - 14) تبقى دارة وسيط التبريد ثابتة ، بتغير اتجـــاه تدفق الهواء حسب الحاجة من التدفئة إلى التبريد في المكان المكيف.

أثناء دورة التدفئة تكون صمامات الهواء H,G,F,E مفتوحة و D,C,B,A مغلقة. الهواء من المكان المكيف يمر عبر الصمام E حول المكثف وعبر الصمام F يعود إلى المكان المكيف.



الشكل (3-14)

يمر الهواء الجوي خلال الصمام G حول المبخر وعبر الصمام H يعود إلى الجو.

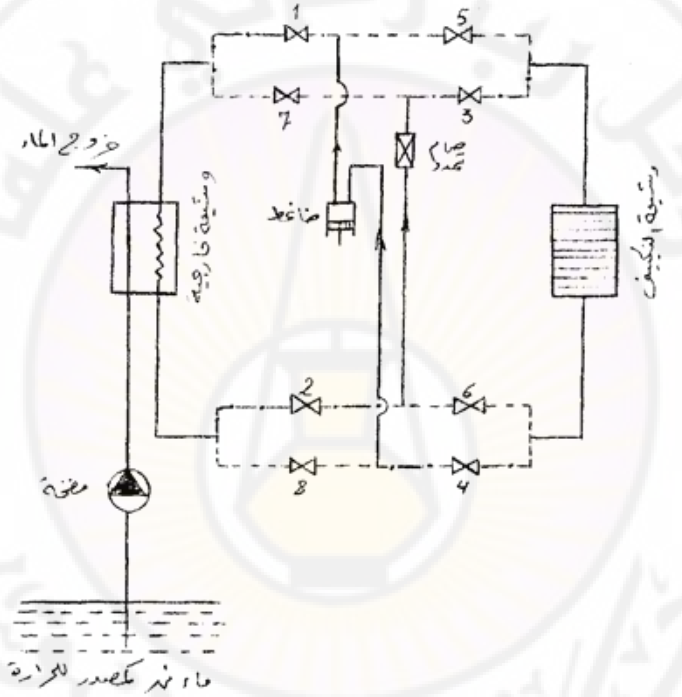
تكون أثناء دورة التبريد الصمامات D,C,B,A مفتوحة، والصمامات H,G,F,E مغلقة، يمر الهواء من المكان المكيف عبر الصمام A حول المبخر ومن خلال الصمام B يعود إلى المكان المكيف. يمر الهواء الخارجي عبر الصمام C حول المكثف ومن خلال الصمام D يعود إلى الجو.

٢- **مخطط دارة الماء ــ هواء Water to Air Design :**

هذا النوع من التصاميم يقسم إلى نوعين: مخطط ماء ــ هواء، وهواء ــ ماء. في مخطط الماء ــ هواء تستخدم المياه الطبيعية كمصدر للحرارة ويستخدم الهواء كحامل لهذه الحرارة مباشرة إلى المكان المكيف.

آ- مخطط الماء هواء Water to Air Design:

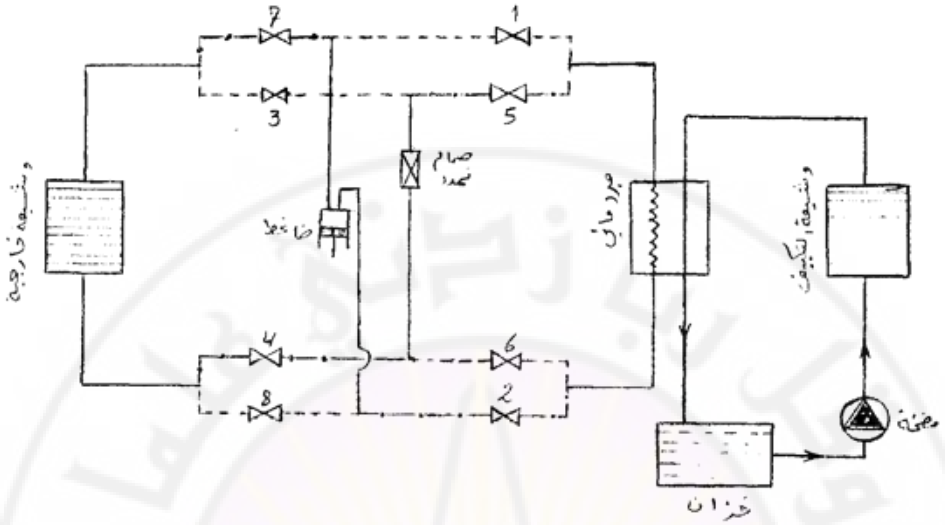
في حالة مخطط الماء ــ هواء تكون الصمامات 1,2,3,4 مفتوحة والصمامات 5,6,7,8 تكون مغلقة خلال دورة التبريد. أما خلال دورة التدفئة فتكون الصمامات 5,6,7,8 مفتوحة والصمامات 1,2,3,4 مغلقة. إن مخطط مثل هذا النظام موضح على الشكل (4 - 14).



الشكل (4-14) مخطط دارة الماء ــ هواء

ب- مخطط الهواء ــ ماء Air to Water Design :

يستخدم في هذا المخطط الهواء الخارجي كمصدر للحرارة ويستخدم الماء كوسيط نقل بين الهواء الذاهب إلى المكان المكيف ووسيط التبريد القادم إلى وشيعة الماء. الشكل (14 5 -) يوضح هذا المخطط. تنظيم الصمامات مشابه تماماً لتنظيم وترتيب الصمامات الموضحة بالشكل (4 - 14).



الشكل (5-14) مخطط دارة الهواء ــ ماء

يمكن في مثل هذا المخطط تخزين الماء الحار أثناء الأحوال الجوية الجيدة ليستخدم عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي منخفضة. من الممكن تخزين الماء الحار أو البارد وذلك يعتمد على دورة التشغيل (تبريد أو تدفئة) خلال فترات الذروة ليستخدم عندما يتعاظم الطلب.

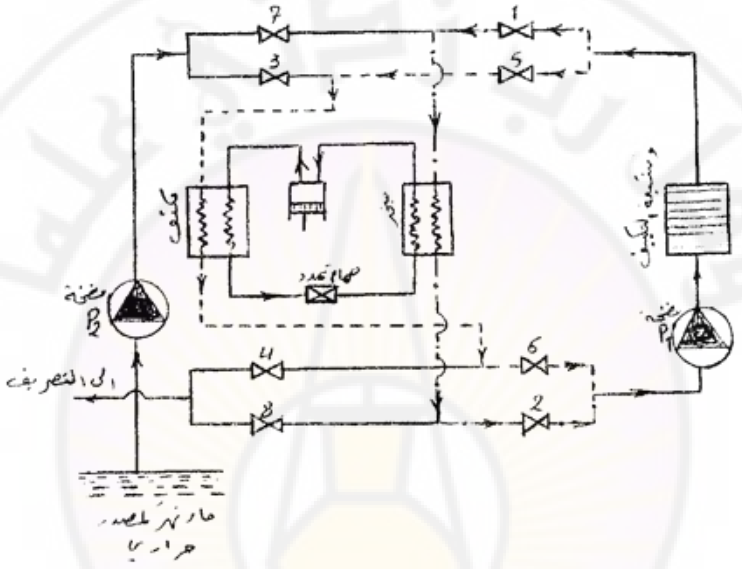
خلال دورتي التدفئة والتبريد تقوم المضخة بتدوير الماء في دورة مغلقة عبر وشيعة الماء كما هو مبين في الشكل (5 - 14). ترتيب الصمامات من أجل تدوير وسيط التبريد وفقاً لما هو مطلوب تدفئة أو تبريد مشابه تماماً لترتيب الصمامات الموضحة على الشكل (4 - 14).

٣- **مخطط دارة الماء ــ ماء Water to Water Design** :

يستخدم في هذا المخطط الماء كمصدر للحرارة وكوسط ناقل للحرارة. الشكل (6 - 14) يبين ترتيبة هذا المخطط .

تكون أثناء دورة التدفئة الصمامات 5,6,7,8 مفتوحة والصمامات 1,2,3,4 مغلقة.

تدور المضخة P_1 الماء خلال وشيعة التكييف حيث يعطي الحرارة للهواء المار إلى المكان المكيف. يمر الماء الخارج من وشيعة التكييف عبر الصمام 5 إلى المكثف ثانية إذ يمتص الحرارة من وسيط التبريد ويمر عبر الصمام 6 إلى وشيعة التكييف من جديد.



الشكل (14-6) مخطط دارة الماء ــ ماء

------ تدوير الماء عبر وشيعة التكييف أثناء التدفئة.

. → . → تدوير الماء عبر وشيعة التكييف أثناء التبريد

تدور المضخة P_2 الماء عبر الصمام 7 وعبر المبخر حيث يتم امتصاص الحرارة من الماء بوساطة وسيط التبريد والماء البارد يطرح من المبخر عبر الصمام 8 .

تكون أثناء دورة التبريد الصمامات 1,2,3,4 مفتوحة والصمامات 5,6,7,8 مغلقة . سيكون المسار بشكل معاكس تماماً لما هو موصوف أعلاه.

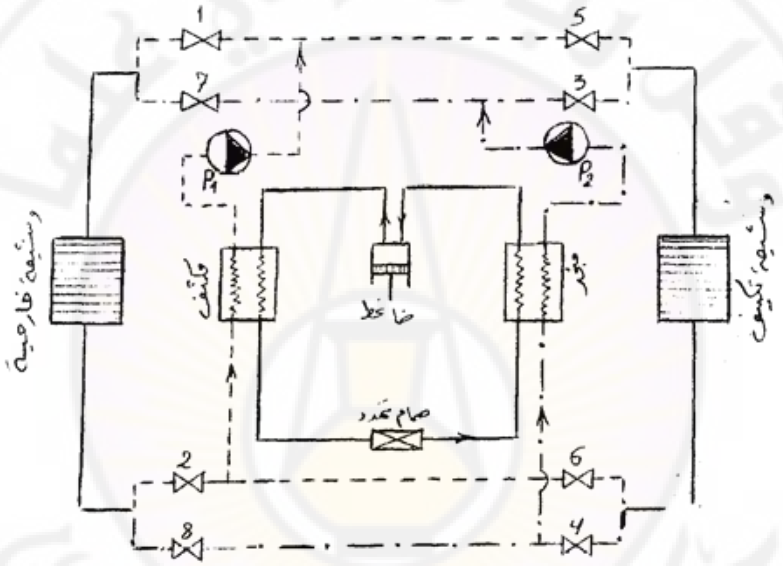
٤ – مخطط دارة الهواء ــ سائل Air to Liquid Design :

في هذا النوع من المخططات يستخدم الهواء كمصدر للحرارة والسائل يستخدم لإعطاء الحرارة إلى الهواء الذي يغذي المكان المكيف.

الشكل(7 - 14) يبين هذا النوع من المخططات.

تكون خلال دورة التدفئة الصمامات 5,6,7,8 مفتوحة والصمامات 1,2,3,4 مغلقة. المضخة P_1 تدور السائل المار من المكثف عبر الصمام 5 إلى وشيعة التكييف إذ تعطى الحرارة إلى الهواء المستخدم للتكييف.

يمر السائل من وشيعة التكييف عبر الصمام 6 عائداً إلى المكثف لتتكرر الدورة من جديد.



الشكل (7-14) مخطط الهواء ــ سائل

تدور المضخة P_2 السائل البارد في المبخر ويمرر عبر الصمام 7 إلى وشيعة خارجية (Out-door Coil) حيث يقوم بامتصاص الحرارة من الهواء الخارجي. يذهب السائل عائداً من الوشيعة الخارجية إلى المبخر عبر الصمام وهكذا تتكرر الدورة من جديد.

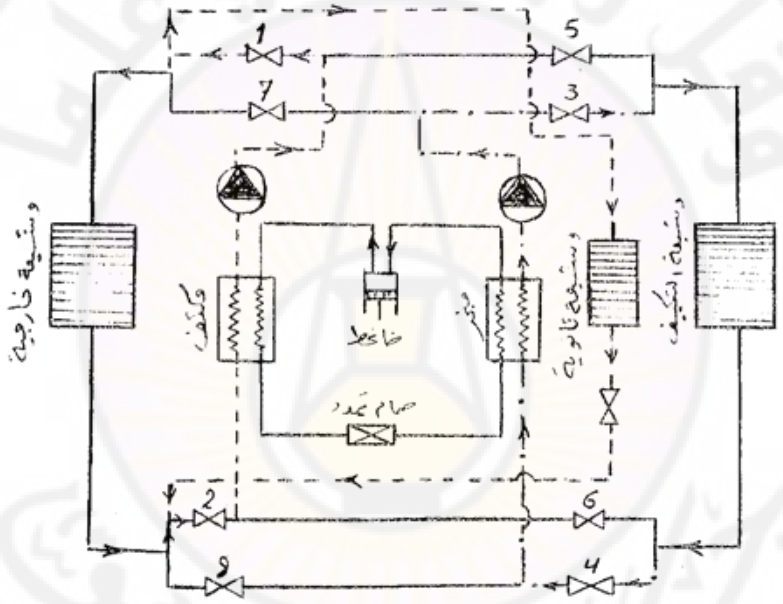
خلال دورة التبريد تكون الصمامات 1,2,3,4 مفتوحة والصمامات 5,6,7,8 مغلقة. هذا النوع من المخططات يمكن أن يستخدم تواقتياً (تزامنياً) لأغراض التدفئة وإضافة لذلك للتبريد.

يمكن أن توضع وشيعة إضافية في الدارة (الشكل 8 - 14).

عندما يعمل النظام على دورة التدفئة فإن الوشيعة الإضافية تؤمن التبريد في الوقت الذي يتم فيه تأمين التدفئة بوساطة وشيعة التكييف.

عندما يعمل النظام على دورة التبريد فإن الوشيعة الإضافية تؤمن التدفئة في الوقت الذي تؤمن فيه وشيعة التكييف التبريد.

هذا النوع من المخططات مفيد حيث يكون التبريد والتدفئة مطلوبين تزامنياً.



الشكل (8-14) مخطط الهواء ــ سائل مع وشيعة إضافية

14 - 4 -المقارنة بين المخططات المختلفة Comparison of Different Circuits:

دارتا الهواء ــ هواء، والماء ــ هواء أكثر بساطة في التركيب والتصميم وأكثر اقتصادية بالتشغيل.

معامل الأداء لهاتين الدارتين أكبر منه لأي نظام آخر .يكون التدرج اللازم في درجة الحرارة الضروري بين وسيط التبريد والهواء من أجل النقل الفعال للحرارة أكبر منه

في المخططات الأخرى. في كلا النظامين المذكورين تستخدم الوشائع كمبخر وكمكثف ولذلك من الضروري العناية بالتصميم والتركيب. من الضروري أن يكون تصميم الصمامات عالي الجودة لمنع التسرب ولأجل الوثوقية حيث تستخدم هذه الصمامات لعكس اتجاه وسيط التبريد.

تكون في مخططات الماء ــ ماء، والهواء ــ سائل الدارة ثابتة ووسيط التبريد يتدفق باتجاه واحد فقط. هذا التصميم يقلل من مشكلات التسرب ومشكلات عودة الزيت إلى الضاغط. في هاتين الحالتين يكون تصميم التجهيزات أبسط لأن كلاً من المكثف والمبخر يقوم بأداء غرض واحد وليس مزدوجاً. هاتان الدارتان مفيدتان عملياً عندما يكون من الضروري تركيب وشيعة خارجية على مسافة كبيرة من الضاغط، وعندما يطلب تعدد وشائع التكييف لتخديم عدة مناطق.

5 - 14 – التطبيقات الصناعية للمضخة الحرارية:

(Industrial Application of Heat Pump)

حظيت تطبيقات المضخة الحرارية في تدفئة وتبريد المنازل باهتمام ملحوظ في السنوات الأخيرة.

توجد تطبيقات متعددة في الصناعات المختلفة تتطلب كميات كبيرة من السوائل الباردة والساخنة. التبريد والتسخين الضروريان يمكن إجراءهما بمساعدة المضخة الحرارية تزامنياً.

ندرج فيما يلي عدداً من التطبيقات الصناعية للمضخة الحرارية وسنتحدث عن بعضها بالتفصيل:

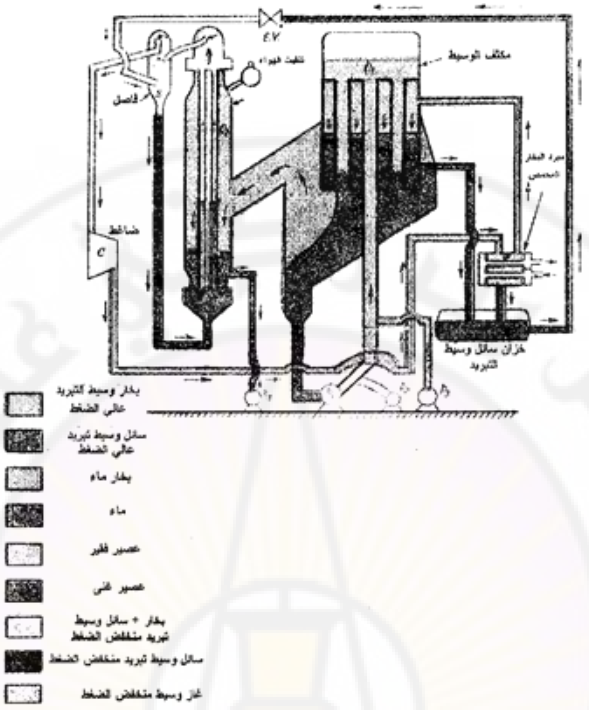
١. تنقية المياه
٢. تركيز العصائر، والحليب وغيرها.
٣. تنقية ماء البحر المالح.
٤. تركيز الأصبغة والكيماويات.
٥. تحضير الحليب المجفف (بودرة)
٦. التكييف على مدار السنة.

١- **دورة تركيز العصير: (Juice Concentration Plant)**

نظام المضخة الحرارية المستخدم لتركيز العصير موضح بالشكل (9 - 14) يساق بخار وسيط التبريد الخارج من الضاغط بضغط عالٍ إلى المكثف مروراً بمبرد البخار المحمص (Desaper heater). يضخ العصير الضعيف إلى داخل مكثف وسيط التبريد عبر المضخة P_3. تستخدم حرارة تكاثف وسيط التبريد لتبخير الماء من العصير الضعيف الذي يضخ عبر المضخة P_3. إن مضخة إعادة التدوير P_1 ضرورية في الدارة لجعل العصير مركزاً. هكذا فإن بخار الماء المتشكل في المكثف C_1 يكثف في المكثف C_2 الذي يعمل كمبخر في دارة وسيط التبريد.

تطرح الحرارة من بخار الماء مزيج وسيط التبريد منخفض الضغط الخارج من صمام التمدد والفاصل. هذه الحرارة تستخدم لتبخير سائل وسيط التبريد منخفض الضغط كما هو موضح بالشكل (9-14)، يساق البخار الحاصل إلى الضاغط ومن ثم تتكرر الدورة من جديد. يطرح الماء المتكاثف في المكثف C_2 بوساطة المضخة P_4.

من الضروري إزالة الماء من العصير عند درجة حرارة منخفضة للحفاظ على الطعم، لذلك فإن عصائر الفواكه والحليب تغلى عند درجة حرارة منخفضة (عصير البرتقال يغلي عند درجة 10 إلى 20 درجة مئوية وضغط 10 ÷ 30mmHg) يحافظ على ضغط التخلخل المطلوب في كامل النظام بوساطة مضخة تخلخلية.



الشكل (9-14)

٢- تقطير (تحلية) مياه البحر : (Distillation of Sea Water)

تصنف عمليات التجميد المستخدمة لإنتاج الماء العذب من ماء البحر إلى نوعين:

النوع الأول هو عملية التجميد الومضي (Flash Freezing Process). إذ تُطـرح الحرارة من الماء المالح بتبخير الماء تحت تخلخل عميق عند درجة حرارة النقطة الثلاثيـة. وبشكل متزامن يتم إنتاج الجليد وبخار الماء.

في عمليات النوع الثاني يتم تبخير وسيط تبريد سريع التطاير بتلامسه المباشر مـع الماء المالح، وهكذا يتم تبادل الحرارة المكافئة لتبخير وسيط التبريد مـع الحـرارة المكافئـة لانصهار الجليد. ينتج كل من النوعين السابقين جليداً بشكل بلورات صغيرة من الماء النقـي، والتي تفصل عن الماء المالح ومن ثم تصهر لإنتاج الماء العذب.

إن سيئة النوع الأول هي أن عمليتي التجميد والانصهار تتمان تحت ضغط منخفض جداً ومن الضروري لذلك تطوير نوع خاص من الضواغط لنقل بخار الماء بـين مرحلتـي

هاتين العمليتين. علاوة على ذلك فإن الحجم الفيزيائي للضاغط يكون كبيراً حتى عند الاستطاعات الصغيرة، وهذا يؤدي إلى مشكلات بالنسبة للوحدات ذات الإنتاجية الكبيرة.

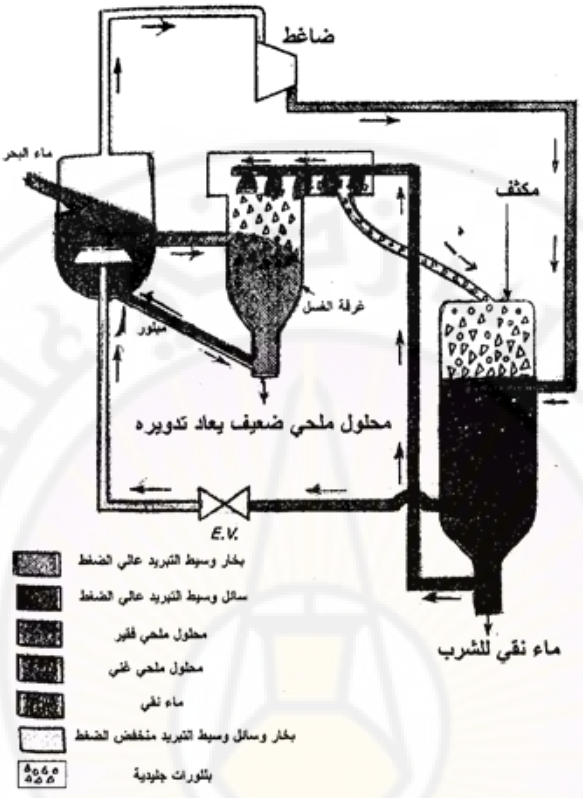
إن هاتين السيئتين لا نصادفهما في إجراءات وسيط التبريد للنوع الثاني. يمكن بالاختيار المناسب لوسيط التبريد إنجاز العلميتين الأساسيتين لتشكيل الجليد وانصهاره عند الضغط الجوي. يمكن استخدام ضاغط وحيد المرحلة لمصنع باستطاعة عدة ملايين من الجالونات باليوم. في هذه الإجراءات يكون الماء المالح على تماس مباشر مع وسيط التبريد بعد خروجه من صمام التمدد كما هو موضح بالشكل (10-14) .

بما أن درجة حرارة وسيط التبريد منخفضة بشكل ملحوظ ($-20^{o}C$)، فإن بللورات الماء تتشكل في المبلور وتطفو على الماء المالح بسبب انخفاض كثافتها وتنقل إلى عمود الغسل.

تكون البلورات المتشكلة مغطاة بالملح وتغسل بماء نقي قادم من المكثف البلوري إلى غرفة الغسل كما هو موضح في الشكل (10-14).

تنتقل البلورات المغسولة من غرفة الغسل إلى المكثف البلوري، إذ تصهر هذه البلورات الجليدية بإعطائها حرارة من وسيط التبريد القادم من الضاغط. هذا الجليد المصهور هو ماء عذب يستخدم لأغراض الشرب. وكذلك يتم تكاثف وسيط التبريد عالي الضغط ودرجة الحرارة القادم من الضاغط في المكثف البلوري بإعطائه الحرارة إلى بلورات الجليد. يساق وسيط التبريد المتكاثف ثانية إلى المبلور عبر صمام تمدد وتتكرر الدورة من جديد. الماء المالح الضعيف الخارج من غرفة الغسل والمبلور يعاد تدويره.

السمات المهمة لإجراءات النوع الثاني هي شكل انتقال الحرارة. في عمليتي التجميد والانصهار تنتقل الحرارة بالتلامس المباشر بدون تدخل السطوح المعدنية. إن هذا يمكن من جعل فرق درجات الحرارة صغيراً جداً ($1 \div 2^{o}C$)، وبالتالي تكون الاستطاعة المستهلكة بالضاغط أصغريه. إن أفضلية انتقال الحرارة بالتلامس المباشر هي التخلص من تشكل الطبقات والأوساخ على السطوح في حال انتقال الحرارة عبر سطوح فاصلة وما تسببه هذه الطبقات من انخفاض للمردود الترموديناميكي للتقطير.



الشكل (10-14)

إن العمل بدرجة حرارة منخفضة هو بحد ذاته ميزة مهمة، إذ إن مشكلات التآكل تكون أصغرية ويصبح عمر المصنع أطول. يكون التلوث البيولوجي عند درجات الحرارة المنخفضة أقل أيضاً. تستخدم المواد البلاستيكية الأقل أيضاً. تستخدم المواد البلاستيكية الأقل كلفة والتي لا تتأثر بالماء المالح وبوسيط البريد.

اختيار وسيط التبريد:

أهم المتطلبات التي يجب أن يتمتع بها وسيط التبريد المستخدم في العمليات المذكورة في الفقرات السابقة هي عدم قابليته للامتزاج بالماء العذب والمالح، وألا يتفاعل كيميائياً مع الماء العذب والمالح وألا يشكل هيدرات (مزيج مائي). يفضل أن يكون ضغط البخار عند درجة حرارة قريبة من نقطة تجمد الماء المالح أكبر من الضغط الجوي لتجنب تصميم أوعية تخلل كبيرة، ويجب ألا يكون الضغط مرتفعاً جداً لأن ذلك يتطلب تصميم أوعية ضغط مكلفة.

كما يجب أن يكون وسيط التبريد غير سام وغير قابل للاشتعال وبسبب الفقد الذي يكون ذا قيمة في المصانع الكبيرة يجب أن يكون وسيط التبريد رخيص الثمن نسبياً وأن يكون متوفراً.

بشكل عام يستخدم البوتان كوسيط تبريد في العلميات المذكورة أنفاً مع أنه قابل للاشتعال وضغط بخاره أقل من الضغط الجوي عند نقطة تجمد الماء المالح. إلا أنه متوافر بكميات كبيرة ورخيص الثمن نسبياً. علاوة على ذلك فإنه يلبي أكثر المتطلبات أهمية وهي محدودية قابليته للذوبان بالماء ولا يتفاعل كيميائياً مع الماء ولا يشكل هيدرات.

هناك أمر إضافي يجب ذكره وهو الوزن النوعي لسائل وسيط التبريد. إذا كان الوزن النوعي أكبر من الواحد فيمكن أن يؤدي إلى صعوبات في إجراءات البلورة.

أما إذا كان قريباً من الواحد، عندئذ فإن الصعوبات تكمن في عملية فصل سائل وسيط التبريد عن الماء العذب والمالح. يتمتع سائل البوتان بوزن نوعي نحو 0.6 وبذلك يكون مناسباً في كلا هذين الأمرين.

٣- استخدام المضخة الحرارية للتجفيف (Heat Pump for Process Drying) :

توجد أمثلة كثيرة في العمليات الصناعية يمكن أن تكون فيها الطاقة المطلوبة لإنجاز عملية تجفيف المنتج فعالة بجعل عملية التجفيف جزءاً من دورة التدفئة.

في العمليات التقليدية يتم التجفيف بإمرار الهواء الساخن إلى داخل المجفف وإخراج الهواء المرطّب. في المجففات التقليدية يتبخر الماء ويمتزج البخار مع الهواء الدافئ. لكي تكون عملية التجفيف فعّالة يجب أن يكون الفقد بالحرارة المحسوسة للهواء الدافئ أصغرياً وأن تحفظ الرطوبة بأعلى قيمة ممكنة. إن الحرارة الكامنة للبخار تعدّ غالباً حرارة ضائعة، ويمكن زيادة مردود التجفيف بشكل أكبر باسترجاع هذه الحرارة الكامنة. لأجل ذلك يجب تحقيق درجة حرارة أقل من درجة حرارة نقطة الندى.

٤- نظام تجفيف العجنة الزجاجية : (Batch Drying System):

النظام الأساسي للمضخة الحرارية المستخدمة لتجفيف العجنة موضح على الشكل (14-11) .

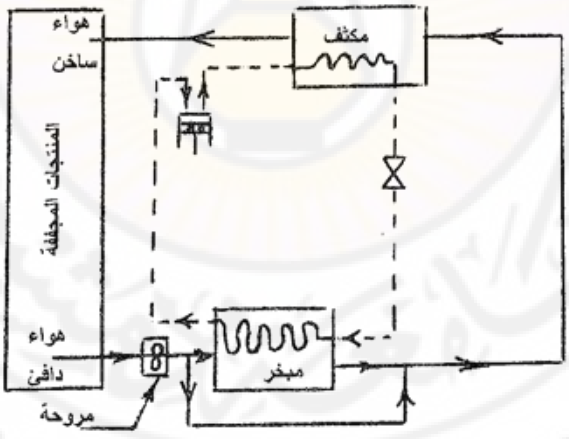
يعمل هذا النظام كما يلي:

المصدر الحراري للمضخة الحرارية التجفيفية هو الهواء الرطب من جو مجفف المنتج. في البداية يبرد الهواء بوساطة تبخر وسيط التبريد في المبخر. وفقاً لتصحيح المبخر فإن جزءاً من الهواء يمكن أن يبرد إلى ما تحت نقطة الندى. تتكاثف كمية ما من رطوبة الهواء على سطح المبخر ومن ثم تطرح.

يمزج الهواء المبّرد والمجفف مع هواء الغرفة هذا الهواء يبّرد المكثف ويسخّن خلال هذه العلمية.

يستطيع الآن الهواء المسخّن والمجفف أن يمتص رطوبة أكثر من المادة المراد تجفيفها. الحرارة التي امتصها المبخر والحرارة المكافئة لعمل الضاغط تنقل إلى الهواء عن طريق المكثف.

تعتمد درجة الحرارة أثناء انتقال الحرارة على التدفق الكتلي للهواء. لتشغيل المضخة الحرارية عند درجة حرارة تبخر ثابتة بمعامل أداء مرتفع يجب أن تكون درجة حرارة التكاثف أخفض ما يمكن.وهذا يمكن تحقيقه فقط إذا كان التدفق الكتلي للهواء حول المكثف أعلى منه حول المبخر.



الشكل (11-14)

يتناسب معدل التبخر من المادة الصلبة مع فرق درجة الحرارة بين سطحها وتيار الهواء. تكون درجة حرارة السطح الرطب مماثلة لدرجة الحرارة الرطبة للهواء.

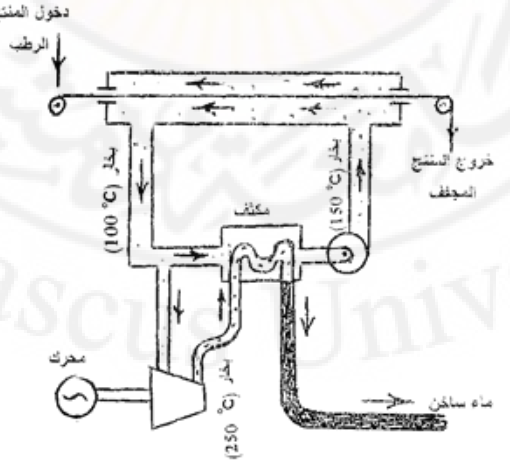
يمكن أن يزداد التبخر إما بتخفيض درجة الحرارة الرطبة وإما بزيادة درجة حرارة نقطة الندى. يتم في حالة السطوح الجافة التحكم بمعدل التبخر عن طريق انتشار الرطوبة باتجاه السطح. هذا المعدل من الانتشار يتناسب مع تدرج درجة الحرارة في المادة الصلبة، وهذا بدوره تابع لدرجة حرارة تيار الهواء. يتمتع الهواء ذو درجة الحرارة العالية باستطاعة أكبر لامتصاص بخار الماء منه للهواء ذي درجة الحرارة المنخفضة عند الرطوبة النسبية نفسها.

متوسط إنتاج المضخة الحرارية ذات درجة الحرارة المرتفعة (درجة حرارة المكثف ٩٠درجة مئوية) نحو (3Kg/Kwh) وهو أسرع بمعدل (50%) من المجففات المتوافرة.

5 – الضاغط الحراري للتجفيف المستمر:

(Thermo-compressor for continuous drying)

هذا النوع للمجفف ذي المضخة الحرارية موضح على الشكل (12 - 14) بهذه الحالة تستخدم دورة إعادة ضغط البخار من أجل استمرار التجفيف في غرفة محكمة الإغلاق. المادة الرطبة تجفف ببخار محمص عند الضغط الجوي. يدخل البخار المجفف بدرجة حرارة 150°C ويغادر بدرجة حرارة أخفض حاملاً معه بخاراً إضافياً ناتجاً عن تجفيف المادة. يضغط هذا البخار الإضافي إلى درجة حرارة عالية (نحو 250°C) وعند ذلك يكثف معطياً حرارته الكامنة للتيار الرئيس.



الشكل (12-14) : نظام التجفيف ذو الضاغط الحراري والعمل المستمر

لكي تكون الإجراءات اقتصادية يجب أن يتمتع المنتج المجفف بمجال مناسب لمحتوى الرطوبة.

6 - 14 -المصادر الحرارية للمضخة الحرارية:

(Heat sources for Heat Pump)

يعدّ الهواء والماء والتربة والحرارة الشمسية المصادر الأساسية للحرارة في الطبيعة، إذ يمكن أن تستخدم لأجل المضخة الحرارية عندما تستخدم الأخيرة لأغراض التدفئة. المسألة الأساسية في تصميم أي وحدة حرارية هي اختيار المصدر الحراري الاقتصادي والكافي. الاختيار العلمي يتأثر بالوضع الجغرافي وشروط المناخ والكلفة الأولية والوفرة.

سنناقش فيما يلي المصادر الحرارية المختلفة:

١. **الهواء:**

يعدّ الهواء مصدراً حرارياً عاماً للمضخة الحرارية وهو أكثر ملاءمة بسبب وفرته وسهولة حركته.

يجب مراعاة العاملين التاليين عند تصميم المضخة الحرارية ذات المصدر الهوائي:

أ. تنوع درجة الحرارة في المكان المحدد.

ب. إمكان تشكل الجليد.

بانخفاض درجة حرارة الهواء الخارجي تنخفض الاستطاعة الحرارية للمضخة الحرارية. الاستطاعة الحرارية للمضخة الحرارية ومردودها كتابعين لدرجة الحرارة الخارجية عند درجة حرارة ثابتة في المكان المكيف موضحة على الشكل (13-14).

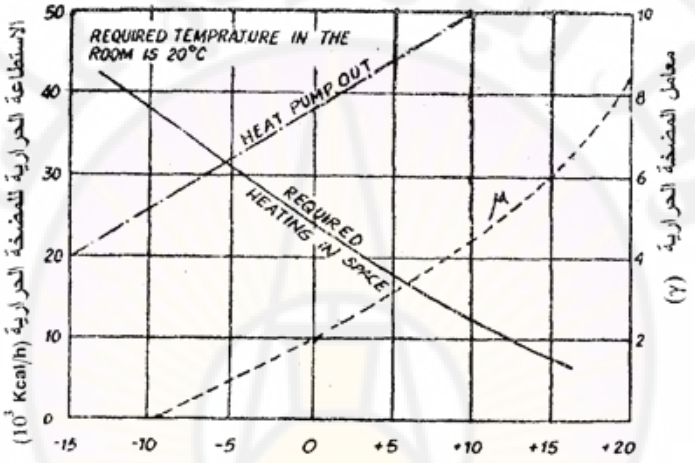
بانخفاض درجة الحرارة الخارجية تزداد الحاجة للتدفئة وتنخفض الاستطاعة الحرارية.

وحدة الهواء-هواء تتطلب زيادة في الحجم لتعويض انخفاض المردود. كما تتطلب وحدة الهواء-هواء استطاعة أكبر منها الوحدة الماء-هواء لأنها تواجه مسألة إمكان انخفاض درجة الحرارة الخارجية.

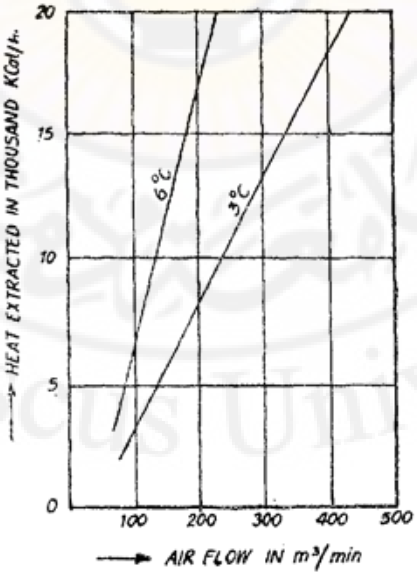
حجم وحدة الهواء-هواء أكبر منه لوحدة الماء-هواء. كمية الهواء الخارجي المستخدمة في المبادل الحراري تكون كبيرة، لذلك فإن مسألة الضجيج تواجه عملية التصميم.

يبين الشكل (14-14)، الحجوم النقريبية للهواء اللازم بفرق درجة حرارة 3°C، 6°C لامتصاص الحرارة من الجو الخارجي.

إن استخدام المضخة الحرارية العاملة على الهواء-هواء محدد بدرجة حرارة خارجية لا تقل عن 12°C-، ويمكن أن تستخدم دون صعوبات كثيرة عند درجة 6°C-. هكذا فإن الهواء الخارجي متوافر بكثرة وقليل الكلفة.



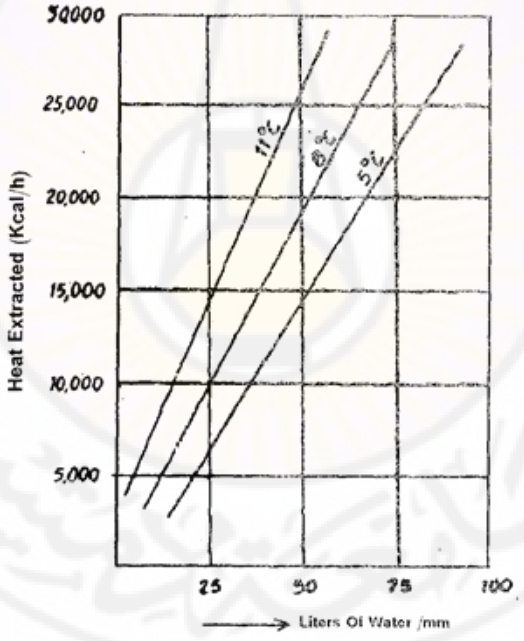
الشكل (14-13) درجة الحرارة الخارجية (C°)



الشكل (14-14)

2 – المياه الجوفية (Ground Water):

المياه الجوفية كمصدر حراري لتشغيل المضخة الحرارية غير عملي ما لم تستخدم وسائل لإعادة الماء إلى خزانات تحت الأرض. هناك بعض المناطق يكون الماء متوافراً فيها بشكل كاف يسمح بضخه ومن ثم طرحه. المناطق الساحلية هي المناطق التي يكون مسموحاً فيها طرح الماء. من الممكن أيضاً استخدام الآبار المزدوجة إذ يضخ الماء من البئر الأولى ويعاد إلى البئر الثانية. الماء كمصدر حراري جذاب عملياً من وجهة نظر ارتفاع درجة حرارته نسبياً وثباتها تقريباً. من الممكن تصميم وحدة تعمل عند الاستطاعة المطلوبة عندما يكون مصدر درجة الحرارة منتظماً خلال السنة. يوضح الشكل (15-14) كمية الماء التقريبية المطلوبة لمنشأة المضخة الحرارية عند ثلاثة فروق لدرجة الحرارة.



الشكل (15-14)

يمكن في بعض العلميات الصناعية استخدام الماء الساخن المطروح، مثال ذلك الماء الدافئ في مغاسل الثياب أو الماء الدافئ المتكاثف في المكثفات الصناعية.

السيئة الرئيسة لهذا المصدر هي ضرورة تحديد موقع المصدر المناسب للمياه الجوفية. تصريف الماء بعد استخلاص الحرارة يخلق أيضاً مشكلة في كثير من المناطق.

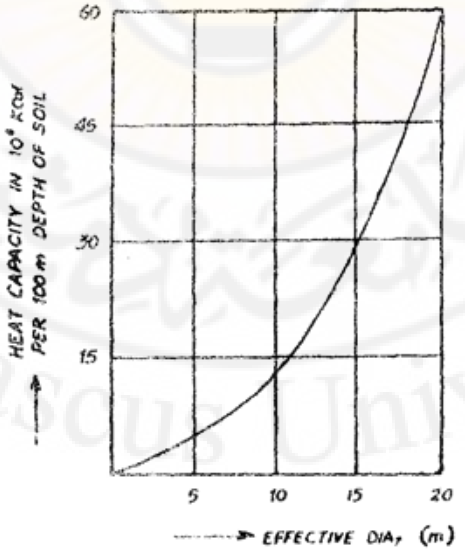
توجد مناطق محدودة جداً إذ تكون المياه الجوفية متوفرة وجاهزة ويمكن أن تصرّف بسهولة.

تستخدم البحيرات والأنهار بشكل واسع في سويسرا كمصدر حراري للعديد من المنشآت.

3-الأرض: (Earth):

الأرض هي المصدر الحراري العام والأكبر والمتوافر لأغراض المضخة الحرارية. الاستطاعات الحرارية للأرض موضحة على الشكل (16-14).

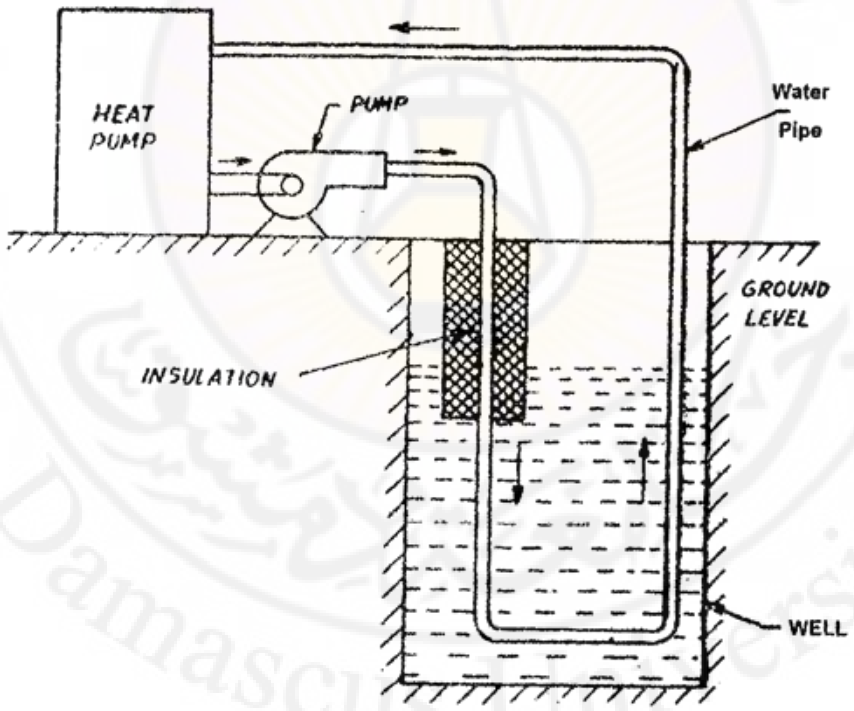
الاستطاعة الحرارية لأسطوانة أرضية بقطر عشرة أمتار وعمق مئة متر تشكل (14×10^6 Kcal) وهي قادرة على تأمين الحرارة بمعدل (10×10^3 Kcal/h) لستة أشهر إذا اشتغلت المضخة الحرارية 30% من الوقت وإذا كان من المسموح انخفاض درجة الحرارة بمعدل 5^oC في الجزء العلوي من الأرض. ولا شك فيما يتعلق باستطاعة الأرض تقديم الحرارة، المشكلة الوحيدة هو المكيانيزم اللازم لتحقيق ذلك.



الشكل (16-14)

تستخدم مخططات متعددة للحصول على الحرارة من الأرض. إحدى هذه المخططات موضح على الشكل (17-14)، حيث تثقب حفرة بالأرض على عمق كاف ليكون مستوى الماء نحو 50 إلى 60 متراً ويدخل أنبوب بشكل حرف U كما هو واضح بالشكل. تقوم المضخة بتدوير الماء خلال الأنبوب لاستخلاص الحرارة من البئر الذي يلتقط الحرارة من الأرض أثناء الجريان الخلفي. السيئة الرئيسة لهذا النظام الكلفة المرتفعة لبناء البئر، ولكن ذلك يعوض بالكلفة المنخفضة للتشغيل.

في مخطط آخر يتم طمر المبادل الحراري في الأرض ويدور خلاله السائل كما في حالة البئر. هذا المخطط غير مرغوب كثيراً لأن طمر المبادل الحراري على عمق كبير غير عملي.



الشكل (17-14)

يمكن أن تستخدم الأنابيب المطمورة كمبخر، وهذا يلغي مبادلاً حرارياً واحداً في الوحدة، إلا أنه يدخل بعض الصعوبات التشغيلية بحبس زيت التزييت وتسرب وسيط التبريد وبعض المشكلات المشابهة،مما يستدعي ضرورة الحرص الشديد في التصميمي وبناء النظام.

لا تستخدم الأرض كمصدر حراري بشكل واسع بسبب كلفتها الإنشائية العالية ومتطلبات مساحة الأرض وصعوبة وعدم التأكد من الأداء المتوقع .

تصنيف التربة واسع التنوع من طين رطب إلى تربة رملية وتملك تأثيراً مسيطراً في الخواص الحرارية. الانتشار الحراري للتربة هو عامل متحكم بانتقال الحرارة ومن الصعب تحديد قيمته في الأمكنة المختلفة .

4 – الطاقة الشمسية (Solar Energy) :

الطاقة الشمسية فوق الجو الأرضي تشكل (1150 kcal / m^2 . h) تقريباً . الغيوم والغبار والضباب تحجب كمية من الطاقة المستقبلة .

يمكن تجميع الطاقة الشمسية باستخدام أنواع مختلفة من المجمعات وكمية الحرارة هذه يمكن أن تستخدم في مبخر المضخة الحرارية أو مباشرة لأغراض التدفئة .

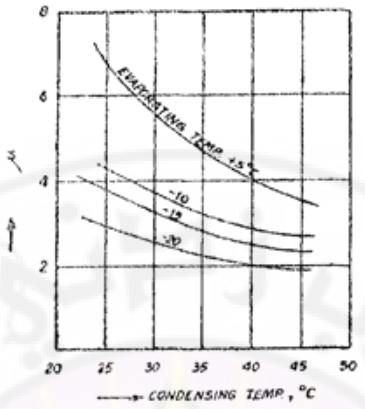
تستخدم السخانات الشمسية دائماً بشكل مشترك مع دارة مضخة حرارية .

لا توجد في الولايات المتحدة الأمريكية بيوت مدفأة باستخدام الطاقة الشمسية بشكل مشترك مع دارة مضخة حرارية .

7 - 14 – أداء المضخة الحرارية : (Performance of heat pump)

إن الأداء العالي للمضخة الحرارية دليل على العمل الفعال لها ، يعتمد أداء المضخة الحرارية على درجتي حرارة التبخير والتكاثف .

تأثير درجتي الحرارة المذكورتين في أداء المضخة الحرارية يبينه الشكل (14 - 18) .



الشكل (14 18)

مسائل محلوله

مسألة 1 :

تستخدم مضخة حرارية لتدفئة بناء ذي حمل حراري تصميمي (15000 Kcal/hr). الماء بدرجة حرارة 10 °C يعمل كمصدر حراري وتغذى الغرفة بهواء ذي درجة حرارة 40 °C . يجب أن يكون فرق درجات الحرارة بين وسيط التبريد في المكثف وهواء التغذية وكذلك بين وسيط التبريد في المبخر والمصدر الحراري 5 °C.

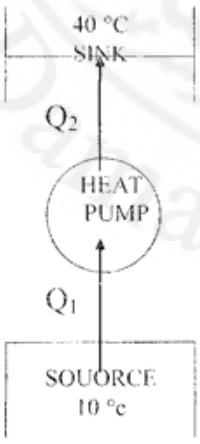
إذا كان معامل التدفئة الفعلي يعادل (60%) مقارنة بدورة كارنو العكسية العاملة ضمن المجال نفسه من درجات الحرارة

احسب :

١. معامل التدفئة للمضخة الحرارية.

٢. الاستطاعة اللازمة لتشغيل الضاغط بـ(HP)

من أجل تأمين الحمل الحراري المطلوب.



الحل :

معامل دورة كارنو العكسية يحسب بالعلاقة :

$$\mu = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

إذ :

$T_2 = 40+273 = 313\ °K$

$T_1 = 10+273 = 283\ °K$

وبالتالي :

$$\mu = \frac{313}{313-283} = \frac{313}{30} = 10.43$$

معامل الأداء الفعلي للمضخة الحرارية :

$\mu_{ac} = 10.43 \times 0.6 = 6.258$

حساب الاستطاعة اللازمة للضاغط (HP) :

$$\mu_{ac} = \frac{Q_2}{W} = \frac{15000}{W}$$

$$W = \frac{15000}{6.258} Kcal/hr = \frac{15000}{6.258} \times \frac{1}{60} = 40 Kcal/\min$$

$$N = \frac{40}{10.54} = 3.8 H.P$$

مسألة 2

مضخة حرارية تستخدم في مسكن لتعطي حرارة بمعدل (16000 Kcal/hr) معامل التبريد للمضخة (3) عندما تكون درجة الحرارة الخارجية 10 °C ودرجة حرارة الغرفة 20 °C . عند هذه الشروط تبقى درجتا حرارة المكثف والمبخر بالتتالي (28 °C) و (5 °C) .

احسب :

١. الاستطاعة المطلوبة (KW) عندما يكون مردود محرك الضاغط 0.8

٢. معامل التدفئة.

الحل :

$$\varepsilon = \frac{Q_2 - W}{W}$$

إذ : Q_2 ــ الحرارة المقدمة بوساطة المضخة الحرارية.

W ــ العمل المقدم للمضخة الحرارية.

إذن : $$\varepsilon = \frac{16000 - W}{W}$$

ومنه : $$W = 4000 \text{ Kcal/hr}$$

وبالتالي :

$$N = \frac{4000}{860 \times 0.8} = 5.82 \quad KW$$

معامل التدفئة :

$$\mu = \frac{Q}{W} = \frac{16000}{4000} = 4$$

مسألة 3

مضخة حرارية مستخدمة لتأمين حمل حراري تصميمي (15000 Kcal/hr) يستخدم فيها الفريون R12 بدرجة غليان (-2°C) وضغط تكاثف (10 at) . أوجد:

١. العمل الفعلي للضاغط لكل 1 Kg من وسيط التبريد إذا كان أكبر من العمل الأديباتي بمعدل (40%).

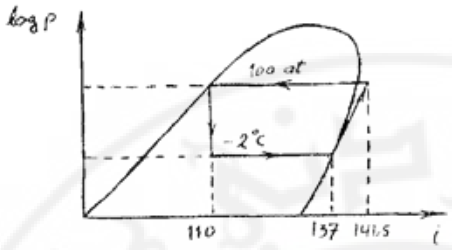
٢. كمية وسيط التبريد الدائرة في الساعة واللازمة لنزع الحمل الحراري المطلوب.

٣. استطاعة محور المضخة الحرارية إذا كان العمل عند المحور أكبر من العمل الفعلي للضاغط بنسبة (20%) .

٤. معامل التدفئة.

الحل :

الإجراءات موضحة على الشكل المجاور.



١- العمل الفعلي للضاغط :

$$W_{ac} = (141.5\text{-}137) \times 1.4 = 6.28 \text{ Kcal/Kg}$$

٢- كمية وسيط التبريد الدائرة بالساعة :

$$G = \frac{15000}{137 - 110} = 555 \quad \text{Kg / hr}$$

٣- استطاعة المحور بـــ HP :

$$N = \frac{6.28 \times 555 \times 1.2}{10.54 \times 60} = 6.6 \quad \text{HP}$$

٤- معامل التدفئة :

$$\mu = \frac{15000}{6.6 \times 10.54 \times 60} = 3.6$$

مسألة 4

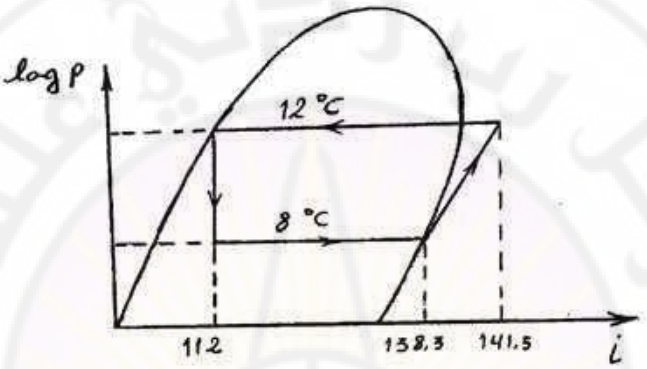
تستخدم مضخة حرارية ماء من بئرين ، يؤخذ من البئر الأولـى 700 ليتـر مـاء بالدقيقة بدرجة 18°C ومن الثانية 2000 ليتر بالدقيقة بدرجة حرارة 15°C . لاسـتخلاص الحرارة من الماء ، يبرد الماء حتى درجة حرارة (10°C) ويطرح إلى بئـر ثالثـة. تتـألف المضخة الحرارية من أربع وحدات تبريد نابذة وذات سعة إجمالية (500 tons) تبريدي فـي شروط التبريد الصيفي. من أجل تدفئة الهواء شتاءً يسخن في المكثف حتى (40°C) ويبـرد حتى (30°C) .

احسب:

١. الحرارة المأخوذة من الماء عند استخدام سعة البئرين بشكل كامل.

٢. إذا كانت المبخرات تعمل عند (8°C) والتكاثف يحدث عند 12°C أوجد الطاقة على محور الضاغط إذا كان مردود الضاغط (77%) . علماً أن وسيط التبريد المستخدم (R12).

٣. أوجد معامل التبريد إذا كان مردود المحرك (93%) .



الحل :

درجة حرارة الماء الممزوج من البئرين :

$$t_w = \frac{700 \times 18 + 2000 \times 15}{700 + 2000} = 15.8^\circ C$$

١- الحرارة المستخلصة من الماء في المبخر بالدقيقة :

$$Q_l = 2700(15.8\text{-}10) = 15660 \ \ Kcal/min$$

٢- العمل الفعلي المبذول بالضاغط لكل كيلوغرام من الوسيط :

$$w = \frac{141.5 - 138.3}{0.77} = 4.16\, Kcal/hr$$

٣- كمية وسيط التبريد الدائرة :

$$G = \frac{15660}{138.3 - 112} = 592\ Kg/\min$$

الطاقة الفعلية المقدمة إلى الضاغط بوساطة المحرك لكل 1 Kg من الوسيط :

$$w_{ac} = \frac{4.16}{0.93} = 4.47\ Kcal/hr$$

معامل التبريد :

$$\varepsilon = \frac{15660}{592 \times 4.47} = 5.9$$

الفصل الخامس عشر

التبريد بالطاقة الشمسية

15 - 1 – مقدمة:

إن الاستهلاك السنوي للطاقة في العالم يزدد يوماً بعد يوم ، ومعدل زيادته سيصبح أكبر في البلدان المتقدمة. الطلب لاستهلاك الطاقة يزداد بسرعة ويتوقع نفاذ الوقود الأحفوري الموجود خلال وقت محدود .

يولي العلماء والمهندسون في العالم اهتماماً زائداً لتطوير طرائق محتملة لاستخدام الطاقة الشمسية والتي تعدّ مصدر طاقة لا محدود .

تحتاج البلدان الغربية إلى التدفئة معظم أيام السنة ، حيث إن سطوع الشمس نادر في هذه البلدان، تستخدم الولايات المتحدة الأمريكية ٣٠% من الطاقة المستهلكة لأغراض التدفئة . تحتاج العديد من البلدان الأخرى للتبريد لأن الصيف يكون حاراً جداً .

في المقاطعات التي تشبه الهند تكون المشكلة مزدوجة فهي تحتاج للتدفئة شتاءً في الجزء الشمالي للبلدان وللتبريد في معظم الجزء الجنوبي للبلدان خلال فصل الصيف .

يتمتع استخدام الطاقة الشمسية للتبريد باهتمام كبير ، حيث إن الطلب على التبريد يكون أعظمياً عندما تكون الشدة الشمسية أعظميه أيضاً .

درجة حرارة الشمس (6000 ^{o}k) وتشع تقريباً (٧،٣٨ ×^{7}١٠ w/m^2). تشكل الطاقة الشمسية الواردة إلى الأرض (٥١٦٠٥. w/m^2) ولكن الطاقة الصافية الواصلة إلى سطح الأرض تتراوح في المجال(١٢٠٠ ÷ ٩٠٠ w/m^2) والفرق يعدّ ضياعات حيث يمتص جزء كبير من الطاقة الشمسية ويعكس بوساطة الجو .

يتمتع استخدام الطاقة الشمسية للتبريد باهتمام خاص في الهند لأن أشعة الشمس تكون ساطعة معظم أيام السنة ، هذه حقيقة وبخاصة في الولايات الجنوبية لقربها من خط الاستواء والتي تتمتع بأيام مشمسة نحو ثمانية أشهر بالسنة بكثافة نحو (٥٠٠٠ ÷ ٤٠٠٠ $Kcal / m^2.day$) ومتوسط سطوع شمسي نحو ثماني ساعات .

تستخدم الطاقة الشمسية لأغراض متعددة أخرى مثل التجفيف ، توليد الطاقة الكهربائية، والانصهار، بالإضافة إلى التدفئة والتبريد .

15 - 2 – المجمعات الشمسية: (Solar collectors)

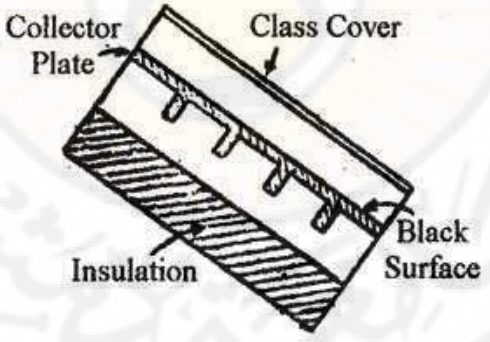
الطاقة الشمسية المستقبلية على الأرض غير كافية للأغراض التقنية ويجب أن تجمع وتركز لأجل الاستعمال التقني . يوجد نوعان من المجمعات المستخدمة بشكل عام في الحياة العملية :

المجمعات الصفيحية المسطحة والمجمعات التركيزية .

1 – المجمعات الصفيحية المسطحة : (flat plate collectors)

يبين الشكل (1 - 15) مجمعاً صفيحياً مسطحاً إذ يستخدم الهواء لحمل الطاقة المجمعة . تستخدم بهذا المجمع صفيحة معدنية ذات سطح أسود. تُنقل الحرارة من الصفيحة الماصة إلى مكان الاستخدام بتدوير الهواء أو الماء أو بعض السوائل الأخرى عبر السطح المسخن شمسياً ، يتم تقليل الضياع الحراري من صفيحة المجمع إلى المحيط بعزل الجانب السفلي بالصفوف الزجاجي وبتغطية الوجه العلوي بغطاء واحد أو أكثر من الزجاج .

تزيد الزعانف الملصقة خلف الصفيحة الماصة سطح التلامس والحرارة المنقولة ، وبخاصة عندما يستخدم الهواء لحمل الحرارة المجمعة .



الشكل (1 - 15) مقطع المجمع الشمسي ذو الصفيحة المسطحة

بشكل عام المجمع الصفيحي المسطح بسيط ، غير معقد التصميم وبدون ميكانيزم توجيه، يستطيع تجميع الطاقة الشمسية عند مستويات درجة حرارة معتدلة ، درجات الحرارة المستخدمة للتدفئة والتبريد معتدلة ولذلك فإن هذه المجمعات عامة الاستخدام .

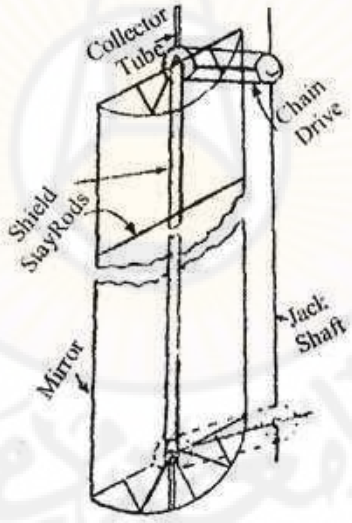
للحصول على تجميع أعظمي تتم إمالة المجمع المسطح بزاوية مثلى على سطح الأرض مساوية زاوية خط العرض، من أجل الأداء على مدار السنة حيث الطلب على الطاقة شتاءً أكبر بعض الشيء منه صيفاً ، فإن زاوية الميل المثلى على الوضع الأفقي تكون أكبر بمعدل ١٠ إلى ٢٠ درجة من زاوية خط العرض .

2 – المجمعات التركيزية : (concentrating collectors)

تحتوي المجمعات التركيزية مرايا مجهزة بشكل قطع مكافئ لتقوم بالتركيز على سخان صغير ، يجب أن يوجه مجسم القطع المكافئ بشكل مستمر إلى الشمس .

يبين الشكل (2 - 15) مجمعاً مكافئ المقطع بسيط يتألف من عاكس مكافئ المقطع لتركيز الأشعة الشمسية على أنابيب تجميع، ومن ميكانيزم توجيه .

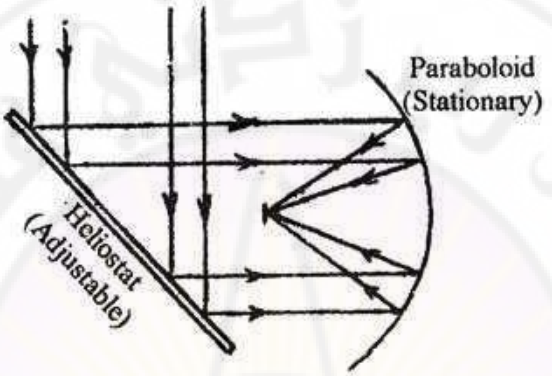
عندما يكون مجسم القطع المكافئ كبير الحجم فإن استمرار توجيه المركز يصبح صعباً .



الشكل (2 - 15) مجمع مكافئ المقطع

على الشكل (3 - 15) نرى ترتيباً يسمح لمجسم القطع المكافئ بأن يكون ثابتاً ، وهناك مرايا إضافية مستوية تدعى هيلوستات (مرايا عاكسة لأشعة الشمس) تعكس أشعة الشمس على المركز. الهيلوستات هو الجزء المتحرك في النظام .

تحتاج المجمعات التركيزية لسطوح عاكسة عالية الجودة ، تستخدم عادة الفضة والألمنيوم، تعدّ الفضة أفضل لعكس الأشعة، ولكن بسبب التآكل السريع لا يمكن أن يعرض السطح الفضي مباشرة إلى الجو. نظراً لرخص ثمن الألمنيوم فإنه يستخدم بشكل عام للمجمعات الكبيرة.



الشكل (3 - 15) مجمع مكافئ المقطع مع هيلوستات

3 - 15 – التبريد الشمسي : (solar refrigeration)

مقارنة بأنظمة الطاقة المعروفة يعدّ تاريخ التبريد الشمسي حديث جداً ، بدأت التجارب على أنظمة التبريد الامتصاصية باستخدام الطاقة الشمسية منذ عام ١٩٥٧ .

1 - 3 - 15 – نظام التبريد الضاغطي البخاري باستخدام الطاقة الشمسية:

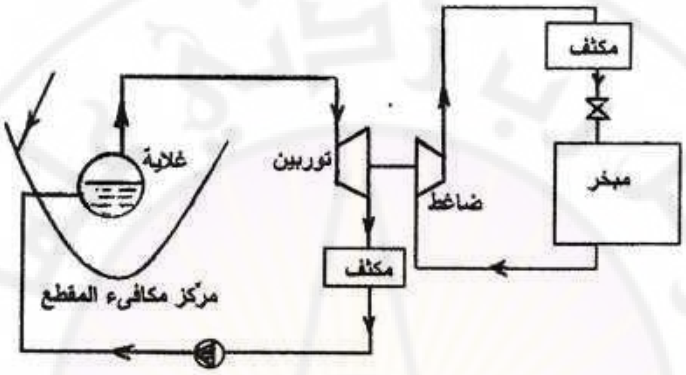
(Vapor compression refrigeration system using solar energy)

يمكن أن تستخدم الطاقة الشمسية إما في نظام التبريد الضاغطي وإما في نظام التبريد الامتصاصي. الشكل(4 - 15) يوضح مخطط نظام تبريد ضاغطي بخاري باستخدام الطاقة الشمسية.

تحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى عمل ميكانيكي لتدوير ضاغط تقليدي في نظام التبريد الضاغطي البخاري .

يؤمن عمل الانضغاط بوساطة توربين بخاري يتلقى البخار من مولد البخار المتولد المتوضع في محرق مرآة مكافئة المقطع كبيرة ، طُور أول توربين بخاري باستخدام الطاقة

الشمسية باستطاعة ٣ طن تبريدي بوساطة بريغمور (prigmor) وباربر (barber) عام ١٩٧٥، معامل أداء النظام كان نحو ٣٠% .



الشكل (4 - 15) نظام التبريد الضاغطي البخاري باستخدام الطاقة الشمسية

إن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية بوساطة دورة رانكين أكثر تعقيداً منه للدورة الامتصاصية العاملة المشعة بالتسخين الشمسي المباشر .

2 - 3 - 15 - نظام التبريد الامتصاصي البخاري باستخدام الطاقة الشمسية :

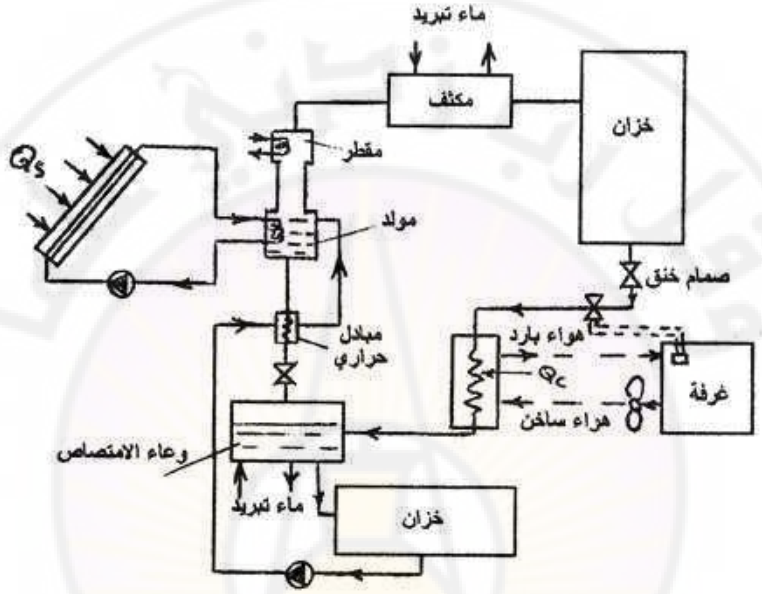
Vapor absorption refrigeration system using solar energy

طالما أنه يمكننا تحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة بفعالية أكثر منه إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية ، لذلك فإن استخدام التبريد الامتصاصي بالطاقة الشمسية ظهر ليكون الحل الأفضل في الوقت الحاضر .

نظام التبريد الامتصاصي العملي (أمونيا – ماء) العامل على الطاقة الشمسية موضح على الشكل (5 - 15) .

يحتوي المولد خليط ماء – أمونيا بتركيز غني قوي لوسيط التبريد . تقوم المضخة بتدوير السائل الحامل للحرارة من المجمع الشمسي أو وعاء التخزين إلى المولد ، ويتم بذلك نقل كمية من الحرارة المجمعة من الشمس إلى المحلول الفني ، يتم في المولد غليان محلول الأمونيا – ماء ، يصعد البخار إلى الجزء العلوي من المولد ، يحتوي البخار المغادر للمولد

(١٠% ÷ ٥) من بخار الماء ، يفصل بخار الماء عن بخار الأمونيا في المقطر ويعاد إلى المولد بهذه الطريقة فإن تركيز البخار الداخل إلى المكثف يمكن أن يكون قريباً من الواحد .



الشكل (5 - 15) نظام التبريد الامتصاصي الشمسي

يتكاثف البخار القادم من المولد في المكثف ويساق إلى خزان التبريد ، إن نقل المتكاثف الدافئ من المكثف إلى داخل المبخر عبر صمام الخنق يسبب انخفاضاً بالأثر التبريدي، لذلك يوضع مبادل حراري بين الخزان والمبخر (غير مبين على الشكل) لتقليل درجة حرارة وسيط التبريد ، وبالتالي يزداد الأثر التبريدي باسترجاع الحرارة التي كانت ضائعة خلافاً لذلك .

حينئذ تتدفق الأمونيا المبردة عبر صمام التمدد إلى المبخر . يصبح وسيط التبريد بضغط ودرجة حرارة منخفضين ويتبخر بامتصاص الحرارة من الهواء أو الماء البارد ويستخدم للتبريد أو لتكييف الهواء وفقاً للطلب.

يمر بخار وسيط التبريد القادم من المبخر إلى وعاء الامتصاص إذ يمتص من قبل المحلول الضعيف القادم من المولد ، يعدّ وعاء الامتصاص مبادلاً حرارياً غير مباشر ، حيث

يتدفق ماء التبريد من جهة والمحلول الضعيف القادم من المولد من جهة أخرى ، يتوزع المحلول الضعيف فوق سطح المبادل الحراري ويمتص بخار وسيط التبريد القادم من المبخر. طالما أن إجراء الامتصاص ناشر للحرارة لذلك يستخدم ماء التبريد لإزالة الحرارة من وعاء الامتصاص والحفاظ على درجة حرارته عند قيمة منخفضة بشكل كاف وتحسين قابلية الذوبان لوسيط التبريد .

يستخدم مبادل حراري نوع (سائل – سائل) بين وعاء الامتصاص والمولد حيث ينقل الطاقة الحرارية من السائل الضعيف الحار القادم من المولد إلى السائل الغني البارد القادم من وعاء الامتصاص.

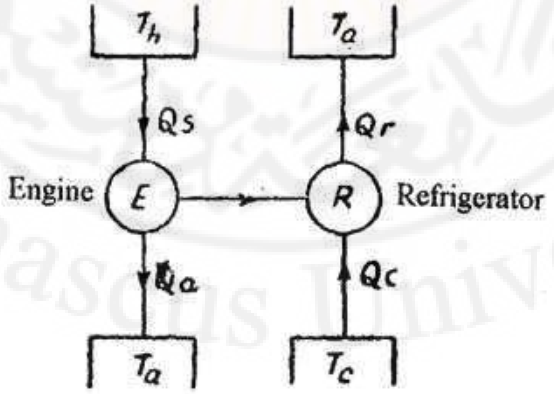
يوفر انتقال الحرارة هذا جزءً كبيراً من الطاقة المغذية للمولد بوساطة المجمع الشمسي .

صمام التمدد بين المولد ووعاء الامتصاص يخفض الضغط من ضغط المولد العالي إلى ضغط وعاء الامتصاص المنخفض .

المحلول الغني يعاد من وعاء الامتصاص إلى المولد عبر المبادل الحراري بوساطة مضخة .

تحليل :

لنفترض وجود نظام تبريد كما هو مبين بالشكل (6 - 15). يقاد مبرد كارنو بوساطة محرك كارنو كما يوضحه الشكل .



الشكل (6 - 15) مبرد كارنو مربوط بمحرك كارنو

$$\eta_{(engine)} = \frac{W}{Q_s} = \frac{Q_s - Q_a}{Q_s} = \frac{T_h - T_a}{T_h}$$

معامل أداء المبرد (C.O.P) (Coefficient of Performance)

$$(C.O.P)(refrigerator)\frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_r - Q_c} = \frac{T_c}{T_a - T_c}$$

إذ : T_h ، T_a ، T_c – درجات حرارة المصدر الحراري والجو والمبرّد على التوالي.

معامل أداء النظام يعطى بالعلاقة :

$$C.O.P_{net} = \frac{Q_c}{Q_s} = W(\frac{T_c}{T_a - T_c}) \times \frac{WT_h}{(T_h - T_a} = (\frac{T_c}{T_h})(\frac{T_h - T_a}{T_a - T_c}) \qquad (15\text{-}1)$$

إذ : $T_c < T_a < T_h$

Q_c – الحرارة المسحوبة من المبخر.

Q_s – الطاقة الساقطة على المجمع

ولكن الحرارة الفعلية المعطاة من قبل المجمع للمولد Q_h تكون أقل من الطاقة الساقطة على المجمع Q_S، لذلك فإن معامل الأداء الصافي يخفض بوساطة المعامل (Q_h/Q_s)، وبالتالي:

$$(C.O.P)_{ab} = \frac{Q_c}{Q_s} \cdot \frac{Q_h}{Q_s} = \frac{Q_h}{Q_s} \times \frac{Q_c}{Q_s} \qquad (15\text{-}2)$$

ولكن (Q_c/Q_s) هي معامل الأداء للنظام المبين على الشكل (6-15). بتعويض قيمة (Q_c/Q_s) من العلاقة (1 - 15) بالعلاقة (2 - 15) نجد:

$$(C.O.P)_{ab} = \frac{Q_h}{Q_s} \cdot \frac{T_c}{T_h} \times \frac{T_h - T_a}{T_a - T_c} \qquad (15\text{-}3)$$

إن Q_h تساوي Q_s مطروحاً منها الضياع في المجمع، أي أن:

$Q_h = Q_s$ - Losses in the Collector

$$Q_h = Q_s - U(T_h - T_a) \qquad (15 - 4)$$

إذ T_h هي درجة حرارة المجمع و T_a درجة حرارة الجو.

بتعويض قيمة Q_h بالعلاقة (3 - 15) نحصل على:

$$(C\cdot O\cdot P)_{ab}=\left[1-\frac{U}{Q_s}(T_h-T_a)\right]\frac{T_c}{T_h}\left(\frac{T_h-T_a}{T_a-T_c}\right) \qquad (15-5)$$

تبين هذه العلاقة أنه عند درجة حرارة ثابتة للجو T_a وعند درجة حرارة معينة مطلوبة للمبخر T_c، فإن معامل الأداء $(C.O.P)_{ab}$ يعتمد على T_h.

يكون معامل الأداء $(C.O.P)_{ab}$ أعظمياً عندما:

$$\frac{d}{dT_h}\left[(C.O.P)_{ab}\right]=0$$

وبالتالي:

$$\frac{d}{dT_h}\{[1-\frac{U}{Q_s}(T_h-T_a)]\frac{T_c}{T_h}(\frac{T_h-T_a}{T_a-T_c})\}=0$$

وهذا يعطي علاقة من الشكل:

$$\frac{T_h}{T_a}=\frac{1}{\dfrac{T_c(T_h-T_a)}{[\dfrac{Q_s}{U}-(T_h-T_a)]}-T_h} \qquad (15-6)$$

إن معامل الأداء (C.O.P) للنظام يزداد بازدياد T_h بينما خرج المجمع ينخفض وفقاً للعلاقة (4 - 15).

هناك طريقة أخرى لتزويد الحرارة الشمسية لمولد وسيط التبريد يُستخدم فيها المجمع الشمسي نفسه كمولد (الشكل 7 - 15).

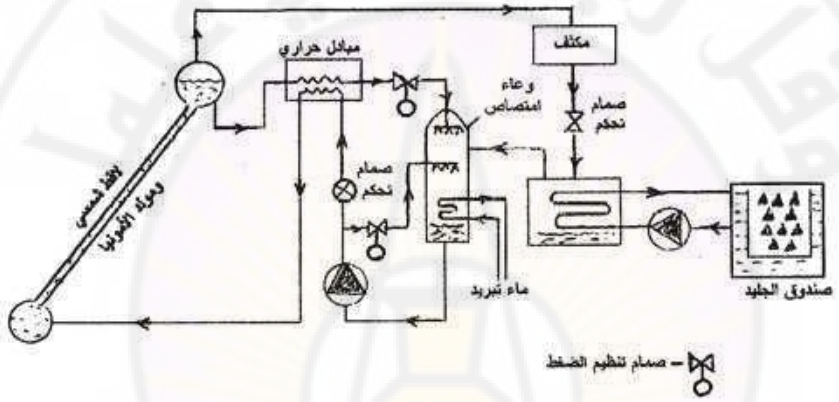
يعمل المجمع ذاته كمولد. المزية المضافة لهذا النظام عدم ضرورة وجود حامل حراري وسيط ودرجة الحرارة المتوفرة لتوليد وسيط التبريد تزداد بناءً على ذلك. مضخة وسيط التبريد يجب أن تصمم لتدوير المحلول عبر المجمع. السيئة الرئيسية لهذا النظام هي الحاجة لتصنيع نظام مانع للتسرب.

الجهاز الشمسي لصناعة الجليد: (Solar Ice Maker)

طُوّر جهاز صناعة الجليد العامل على الطاقة الشمسية من قبل الدكتور فاربر (Farber) باحث الطاقة الشمسية المشهور بجامعة فلوريدا. يعمل هذا الجهاز على المبدأ نفسه

لنظام التبريد الامتصاصي العامل على الأمونيا والذي يستخدم الطاقة الشمسية كمصدر حراري للمولد كما شرح سابقاً.

يستخدم النظام مجمعاً صفيحياً مسطحاً وهو موضح على الشكل (7 - 15). يعمل المجمع نفسه كمولد ويلغي بذلك المبادل الحراري والضياعات المرافقة له. تبين عملياً أنه بهذه الطريقة يتم إنتاج الجليد بمعدل 40 kg باليوم. مقاييس النظام (120 x 120 cm) مع جميع المكونات المتوضعة تحت المجمع-مولد.



الشكل (7 - 15) الجهاز الشمسي لصناعة الجليد

3-3-15 - نظام التبريد المفتوح العامل على كلوريد الليثيوم - ماء:

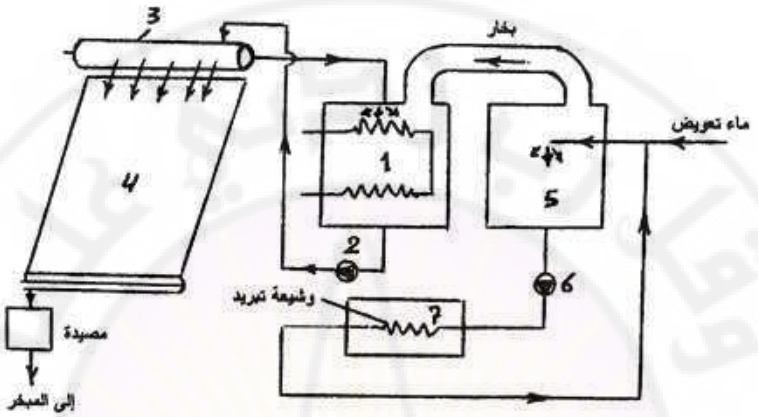
Licl-H_2O Open cooling system

برنامج التطور في روسيا إلى الدورة الامتصاصية التي تستخدم كلوريد الليثيوم - ماء (Licl-H_2O).

يركّز المحلول بتبخره في مجمع شمسي ويساق ماء التعويض (Make up Water) إلى المبخر. هذا النظام موضح تخطيطياً على الشكل (8 - 15). سائل الامتصاص هو محلول كلوريد الليثيوم (Lithium Chloride) مع الماء.

ينقل محلول كلوريد الليثيوم الممزوج مع الماء إلى المسخن 3 بوساطة المضخة 2 وبعد ذلك إلى المجمع الصفيحي المسطح المفتوح 4 حيث يتبخر الماء. المحلول المركز يعود إلى وعاء الامتصاص 1 عن طريق المبادل الحراري 3 لاسترجاع الحرارة المحسوسة.

يبرّد الماء في المبخر 5 ويتجه بخار الماء من المبخر إلى وعاء الامتصاص. يضخ الماء البارد من أسفل المبخر بوساطة المضخة 6 إلى المبادل الحراري 7 حيث يبرد الهـواء المغذي للغرفة.



الشكل (8 - 15): نظام التبريد بالدروة المفتوحة العاملة على ($LiCl-H_2O$)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

هندسة التبريد

الدكتور
نديم عابد مخيبر
أستاذ في قسم الميكانيك العام

الدكتور
علي عيسى
أستاذ في قسم الميكانيك العام

جامعة دمشق
١٤٣٦ - ١٤٣٧هـ
٢٠١٥ - ٢٠١٦م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الثاني

- الفصل الأول: الخصائص الفيزيائية
- الفصل الثاني: الخصائص الميكانيكية
- الفصل الثالث: تركيب الأسمنت وتفاعلات الترطيب
- الفصل الرابع: حساب التركيب الكموني للأسمنت
- الفصل الخامس: قياس حرارة ترطيب الأسمنت؛ الخصائص الحرارية للأسمنت
- الفصل السادس: حساب الحجوم المطلقة (V)
- الفصل السابع: قياس نعومة الأسمنت؛ طرق قياس النعومة
- الفصل الثامن: الخصائص الريولوجية للعجائن الأسمنتية
- الفصل التاسع: تأثير الماء على الأسمنت
- الفصل العاشر: تأثير الحرارة على الأسمنت
- الفصل الحادي عشر: الخصائص الميكانيكية للعجائن الأسمنتية
- الفصل الثاني عشر: الانكماش
- الفصل الثالث عشر: الزحف والاسترخاء
- الفصل الرابع عشر: تأثير المحيط على الأسمنت

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

المنشآت التبريدية

١-١- نماذج البرادات وخصائصها:

البراد هو مؤسسة صناعية مخصصة لتبريد المنتجات سريعة التلف وتجميدها وحفظها. وتتميز البرادات بالميزات التالية:

١- في البرادات تحفظ المنتجات غالية الثمن وسريعة التلف التي تتطلب لحفظها درجة حرارة أخفض من درجة حرارة الهواء الخارجي ورطوبة نسبية محددة وفي بعض الأحيان دوران وتبديل الهواء.

٢- حرارة الهواء الخارجي ورطوبته يمكن أن تتسرب إلى البراد وهذا ما يتطلب إنشاء خاص للجدران من أجل تقليل تسرب الحرارة والرطوبة إلى داخل البراد.

٣- الحجم الكبير لتنوع المنقولة وضرورة السرعة في تفريغها وترتيبها يتطلب استخدام واسع لمعدات النقل.

٤- في البرادات يجب تأمين النظافة بشكل جيد.

تصنف البرادات بعدة طرق منها:

أ- حسب الوظيفة.

ب- حسب السعة.

ج- حسب عدد الطوابق.

د- حسب نوع المنتجات المحفوظة.

حسب الوظيفة تقسم البرادات إلى:

برادات التخزين: وهي مخصصة لتخزين المنتجات في المناطق الزراعية وهذه البرادات تحتوي على محطة تبريد كبيرة الاستطاعة. سعة غرف الحفظ في هذه البرادات أصغر من سعة غرف التبريد.

البرادات الإنتاجية: هذه البرادات مخصصة لتبريد وتجميد المنتجات الغذائية التي تقع في مناطق الإنتاج أي يمكن أن تكون جزءاً من إحدى المؤسسات الغذائية (اللحوم، الحليب، المعلبات، وغيرها).

برادات النقل المحمولة: وهي مخصصة لتأمين درجات الحرارة الضرورية عند نقل المنتجات في مختلف وسائط النقل البرية والبحرية والجوية.

برادات التوزيع: وهي مخصصة لتأمين المواد الغذائية الموسمية خلال السنة تأميناً متكافئاً مع سكان المنطقة أو المدينة التي توجد فيها البرادات. هذه البرادات تتميز بسعة كبيرة لغرض الحفظ والإنتاجية الصغيرة للتبريد والتجميد.

برادات المحلات التجارية والمطاعم: وهي تستخدم لحفظ المنتجات لفترة قصيرة. سعة هذه البرادات غير كبيرة، في غرفة واحدة يمكن حفظ منتجات مختلفة.

البرادات المنزلية: وهي مخصصة لحفظ المنتجات الغذائية في المنازل لفترات قصيرة ولإنتاج كميات صغيرة من الجليد.

حسب السعة تقسم البرادات إلى:

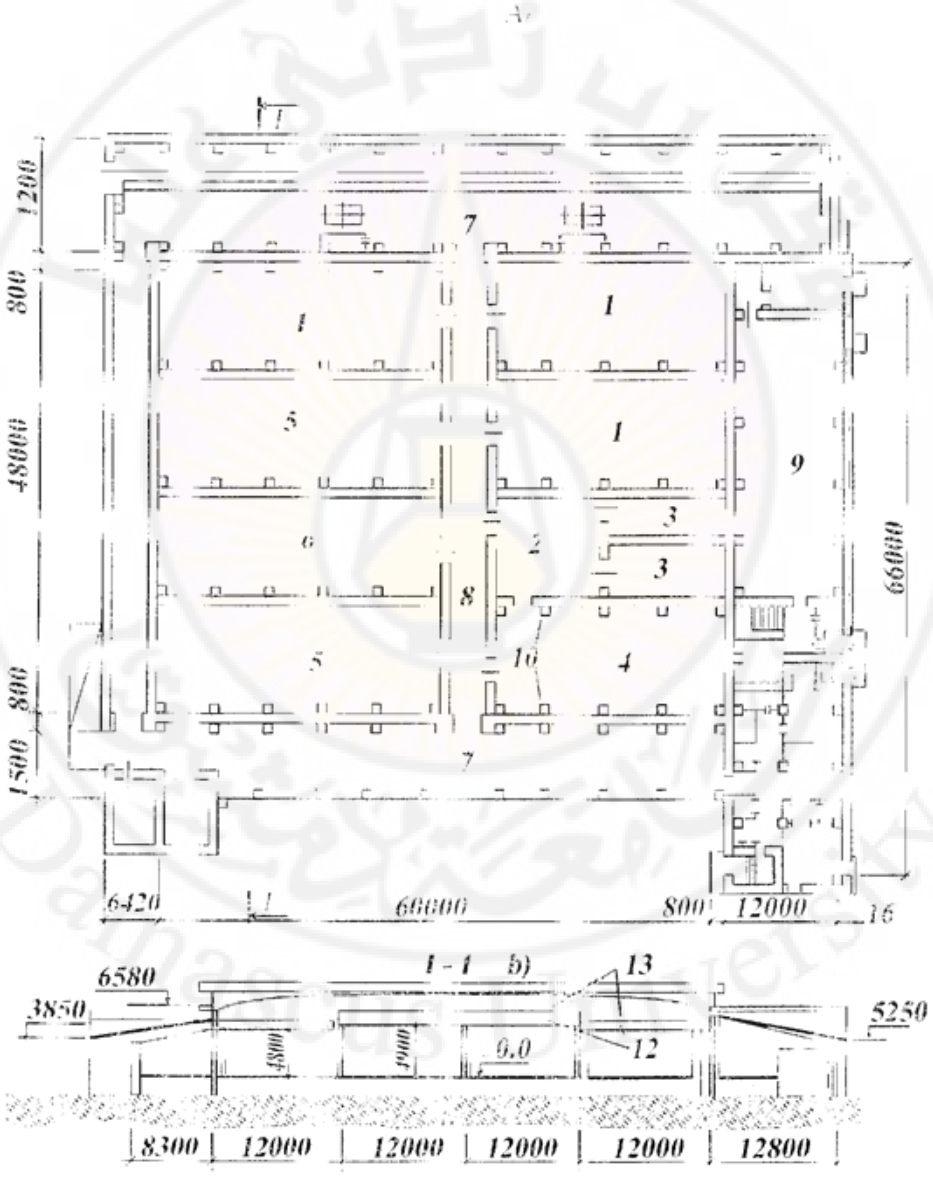
- برادات كبيرة وسعتها أكبر من ٣٠٠٠ طن.
- برادات متوسطة وسعتها (١٠٠٠ – ٣٠٠٠) طن
- برادات صغيرة وسعتها لا تزيد عن ١٠٠٠ طن.

حسب عدد الطوابق تقسم البرادات إلى:

- برادات وحيدة الطابق.
- برادات متعددة الطوابق.

البرادات وحيدة الطابق: إن الشكل النموذجي للبرادات وحيدة الطابق موضح على الشكل (١-١) وهو مؤلف من أعمدة بتونية، عوارض أفقية يرتكز عليها سقف البراد، إن الحمولة في هذه البرادات يتلقاها الهيكل، أما الجدران فلا تتلقى أية حمولة بل تحمل نفسها فقط كما هو موضح بالشكل (١-٢) حيث أن السقف يرتكز فقط على الأعمدة. إن كل $1\ m^2$ من مساحة سقف البراد يتلقى حمولة حوالي $2000\ kg/m^2$ وذلك ناتج عن التجهيزات والعزل.

البرادات وحيدة الطابق كانت تستخدم للسعات الصغيرة ، ولكن في الوقت الحاضر تبنى مثل هذه البرادات لأية سعة . إن ارتفاع البرادات وحيدة الطابق يمكن أن يكون 8 - 9 m على خلاف البرادات متعددة الطوابق والتي يكون ارتفاع الطابق فيها (3.6 - 4.8 m) .



الشكل (١ – ١)

مراحل تنفيذ الطابق (شبكة الأعمدة ٦ × ١٢ م)

a- مخطط توضع الأعمدة b- المخطط الإنشائي لترتيب العوارض بمسافات ١٢م وألواح الغطاء بخطوة ٦م.

١،٢،٣،٤،٥،٦- تعرف لتسلسل ... ٧- أرصفة ... ٨- قسم ... ٩- ... ١٠- أعمدة.

١١- جدران ذاتية الحمل، ١٢- العوارض، ١٣- ألواح الغطاء، ١٤- عازل حراري.

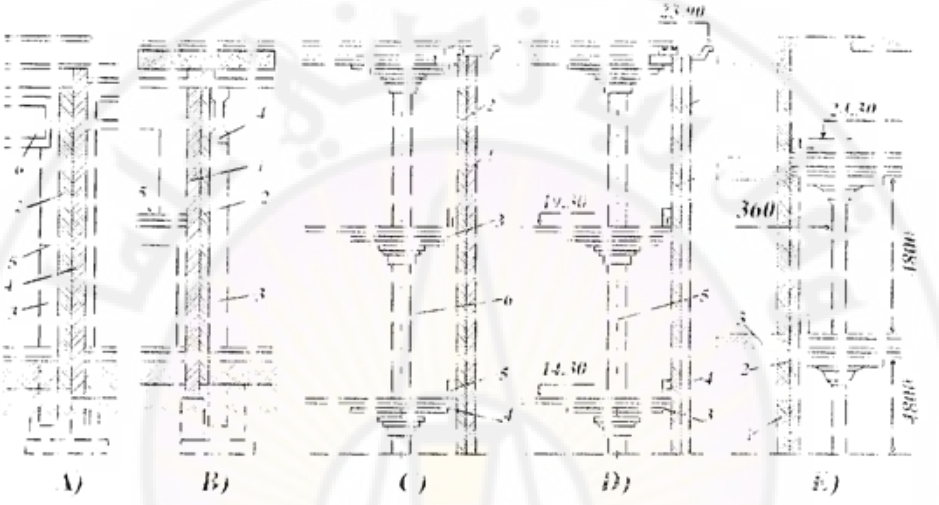
البرادات متعددة الطوابق: إن البرادات المتوسطة والكبيرة كانت تنجز سابقا بشكل بناء متعدد الطوابق وذلك بقصد تقليل انسطوح الخارجية وبالتالي الحد من الأحمال الحرارية المتدفقة من الجدران الخارجية إلا أنه في البرادات المتعددة الطوابق هناك صعوبة في عملية الشحن والتفريغ وغيرها.

البرادات متعددة الطوابق تتكون عادة من ٤÷٥ طوابق وهي تبنى عادة بشكل قفص الشكل (١-٣) المسافة بين كل عمود وآخر 6 m وبين كل سقف وآخر 12 m أي مستطيل 6×12 . الجدران تحمل نفسها الشكل (١-٢) . في البرادات متعددة الطوابق يمكن أن تكون الغرف ذات درجات الحرارة المساوية للصفر او الموجبة متوضعة في الطابق الأول أو القبو إن وجد وذلك لتجنب تجمد التربة ، إن هذه المشكلة أكثر تعقيدا في البرادات ذات الطابق الواحد .

محاسن البرادات وحيدة الطابق ومتعددة الطوابق وعيوبها:

إن البرادات وحيدة الطابق بالمقارنة مع المتعددة الطوابق وعند سماكة العزل نفسها تتصف بزيادة استهلاك الطاقة التبريدية (بشكل وسطي 30 %)، لذلك البرادات الوحيدة الطابق تعد بدرجة عازلية كبيرة وتستخدم بشكل أساسي لحفظ المنتجات الغذائية المغلفة.

من محاسن البرادات وحيدة الطوابق أن الحمولة على الأرض يمكن أن تتجاوز 4000 kg/m^2 ، المسافة بين الاعمدة يمكن أن تكون حتى 30 m وهذا يسمح باستخدام آليات تصفيف بإنتاجية كبيرة وبالتالي تخفيض مثل هذه العمليات بمعدل 30 – 40 % . ارتفاع البرد يمكن أن يصل الى 10 ÷ 20 m . البرادات التي يزيد ارتفاعها عن 14 m تسمى البرادات العالية .



الشكل (٢-١)

الجدران الخارجية والداخلية للبراد

أ - جدار خارجي ذاتي الحمل لبراد حيز الطوابق.

١- جدار من الآجر، ٢- عازل حراري، ٣- عمود، ٤- حزام من البيتون المسلح، ٥- السفين لتثبيت الجدار بالعمود، ٦- جسر بيتون مسلح مسبق الصنع.

ب - جدار داخلي لبراد وحيد الطابق يحمل السقف عن الطرف.

١- جدار آجري، ٢- عازل حراري، ٣- عمود، ٤- جسر بيتون مسلح مسبق الصنع، ٥- سقف طابقي للبراد.

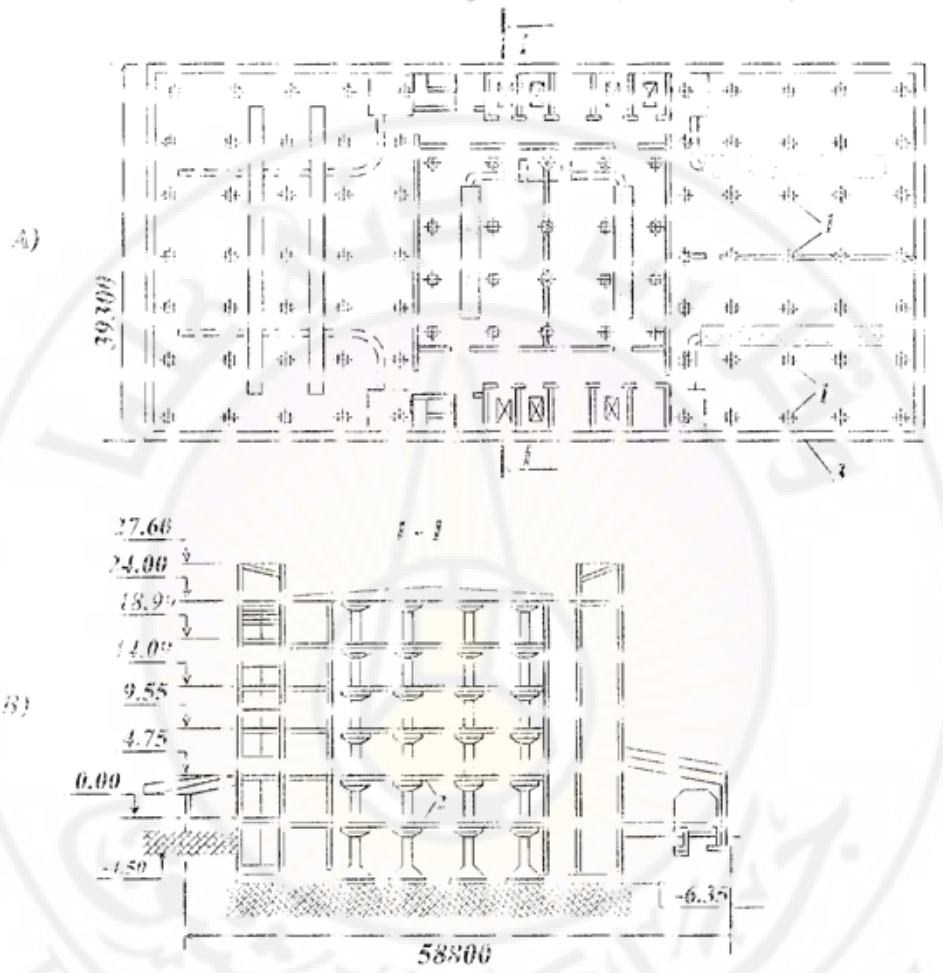
ج - جدار خارجي ذاتي الحمل لبراد متعدد الطوابق.

١- جدار آجري، ٢- عازل حراري، ٣- حزام بيتون مسلح للتثبيت بالبيادل، ٤- السفين، ٥- حزام مسانع للحريق، ٦- هيكل بيتوني مسلح للبراد.

د - جدار خارجي ذاتي الحمل من الألواح البيتونية المسلحة مسبقة الصنع.

١- لوح شفاف من البيتون المسلح المسبق الصنع، ٢- عازل حراري، ٣- السفين لتثبيت الألواح، ٤- حزام مانع للحريق، ٥- هيكل من البيتون المسلح.

ه - جدار داخلي آجري من جهة البيرد.



الشكل (٣-١)

براك متعدد الطوابق ذو هيكل من البيتون المسلح وبدون جسور

a- مخطط الطوابق العليا b- مقطع

١- أعمدة ٢- أدراج السقف ٣- جسور ثانوية الحمل

٣ - ١ - مواصفات غرف البراك:

١- غرف حفظ المنتجات الصيدلية.

يحافظ على درجة حرارة الهواء في الغرف بالحدود من 0 °C وحتى 1.5 °C ورطوبة نسبية (85 ... 90) . ويستخدم فيها نظام التبريد المباشر الذي يتميز أن يتم بوساطة مبردات الهواء الجافة .

اللحوم ومنتجاتها تحفظ في الغرف بشكل معلق او تعبأ في صناديق، بعض المنتجات (السمك ، الجبنة) توضع على رفوف . وهذا أيضا تحفظ اللحوم المجمدة حتى عمق 300 mm .

معدل الحمولة لغرف حفظ اللحوم المبردة تؤخذ كما لغرف التبريد والتجميد 250 kg لكل $1m^2$ من أرض الغرفة إذا كان حفظ اللحوم بشكل معلق وهذا $400\ Kg/m^3$ إذا كانت اللحوم معبأة . معدل الحمولة للثمار والخضار الطازجة بشكل $0.31\ Kg/m^3$ وللبيض $0.32\ T/m^3$.

١- غرف حفظ المنتجات المجمدة:

هذه الغرف مجهزة ببطاريات جدارية وسقفية أو مبردات هوائية مع موزعات هوائية ، التي تحافظ على درجة حرارة الهواء في الغرفة -23°C ،الحمولةالنوعية للغرف ،

$350 - 600\ Kg/m^3$.

٢- غرف تخزين ذات نظام حراري عام.

هذه الغرف مخصصة لحفظ المنتجات المبردة او المجمدة . يحافظ على درجة حرارة الهواء في الغرفة بحدود (-18 °C ÷ 0) ورطوبة نسبية (85 ÷ 95 %) . الغرف مجهزة ببطاريات جدارية وسقفية وكذلك بمبردات هواء ذات تبريد مباشر . المنتجات الواردة تبرد من 5 °C وحتى 0 °C عند درجة حرارة الهواء 0 °C وتحفظ بشكل مبرد .

السلع المجمدة تحفظ عند درجة حرارة -18 °C . في البرادات الحديثة تصل سعة الغرف ذات النظام الحراري العام حتى 40 % من السعة الكلية للبراد .

٣- غرف التبريد والتجميد الأوليين.

وهي مخصصة للتبريد المكثف وتجميد اللحوم في تيار الهواء على ناقل عند حركة اللحوم من قسم ذبح الحيوانات والتقطيع في البراد . التبريد الأولي للحوم يتم عند درجة حرارة الهواء -20 °C ... وسرعة حركته 5 m/s . فترة معالجة الذبائح المقطعة بالنصف تستمر (15 – 20) min .

إن هذه الغرف تستخدم أيضا للتبريد الأولي للفواكه. وفي هذه الحالة يحافظ على درجة حرارة الهواء في الغرفة -2C وسرعته (2÷3 m/s).

٥- غرف التبريد.

هذه الغرف مخصصة للتبريد السريع للحوم المقطعة بشكل أنصاف أو أرباع أو للمنتجات الأخرى. تجهز هذه الغرف بمبردات هواء وأنظمة خاصة لتوزيع الهواء.

٦- غرف التجميد وأجهزة التجميد السريع.

في هذه الغرف أجهزة التجميد السريع تجمد اللحوم بعد تبريدها أو إذا كانت بحالتها الطازجة مباشرة . درجة حرارة الهواء تصل إلى $35\ ^{\circ}C-$. فترة استمرارية التجميد تتعلق بسماكة المنتج وسرعة الحركة ودرجة حرارة الوسط الذي يتم بالتبريد. الغرف تخدم دوريا عند الشحن الدوري والتفريغ كما يمكن أن تعمل بشكل مستمر . في الحالة الأخيرة تجهز الغرف بنواقل خاصة .

اللحوم المقطعة بنصفين تجمد خلال مدة (16 – 36 h) في الغرف. أما في الأجهزة سريعة التجميد فتتم العملية خلال (12 h) . اللحوم في الغرف تتوضع على خطوط تعليق .

٧- غرف زيادة تجميد المنتج.

وتخصص لتكثيف التبريد أو زيادة تجميد المنتجات الواردة إلى البراد التوزيعي. درجة حرارة الهواء في هذه الغرف $23^{\circ}C-$. نظام التبريد مختلط (بطاريات تبريد مباشر وباستخدام المبردات الهوائية) والتي تضمن تبريد المنتجات الواردة حتى $10\ ^{\circ}C-$.

٨- غرف التفريغ والتكويم.

عند التجميد التكميلي تعمل هذه الغرف عند درجة حرارة الهواء ($35\ ^{\circ}C-$ وتنجز وظيفة التجميد الأولي للحوم . خلال 4 h تجمد اللحوم على عمق 40 mm . هذا يؤدي إلى اختصار وقت المعالجة التبريدية ويقلل من الجفاف ويكثف التبادل الحراري في المبردات الهوائية بسبب انخفاض سماكة طبقة الجليد المتوضعة على ريش السطوح خلال الدورة .

عند العمل الدوري أثناء التجميد تخدم الغرف كغرف شحن (تكويم) وتفريغ . درجة حرارة الهواء فيها تساوي ($18\ ^{\circ}C-$) والرطوبة النسبية 95 % - 90 .

٩- غرف حفظ المواد المعيوبة.

وهي غرف احتياطية لحالة ورود سلع غير قياسية إلى البراد.

درجة حرارة الهواء في مثل هذه الغرف $18^{\circ}C$. تجهز ببطاريات تبريد مباشر جدارية .

١٠- غرف تقسية (تصليب) البوظة.

مخصصة لتبريد البوظة الواردة من 4 °C حتى 18 °C – على درجة حرارة الهواء 23 °C-. الحمولة النوعية على أرض الغرف تشكل 100 ÷ 150 kg/m^2 . تجهز هذه الغرف ببطاريات تبريد مباشرة سقفية ، على رفوف .

١١- غرف الإرسال.

تخصص هذه الغرف لعمليات الشحن في البرادات، عند درجة حرارة الهواء 18 °C – . تجهز هذه الغرف ببطاريات تبريد مباشر .

١٢- غرفة حفظ الجليد.

وهي مخصصة لتكوين وحفظ ألواح الجليد، تجهز ببطاريات تبريد مباشر ، التي تؤمن الحفاظ على درجة حرارة الهواء 4 °C – .

٣-١ - الحفاظ على درجة حرارة ورطوبة الهواء في المكان المبرد:

٣-١-١- درجة الحرارة التوازنية للهواء في المكان المبرد:

لتخفيض درجة حرارة الهواء في غرفة مغلقة وحفظها عند مستوى معين يجب تبريد الغرفة اي طرح الحرارة منها وذلك باستخدام محطة تبريد .

سرعة تغير درجة حرارة الغرفة t_R تتناسب طرداً مع الفرق بين الكسب الحراري للغرفة المبردة Q_T (كمية الحرارة المتسربة إلى الغرفة المبردة + كمية الحرارة المتولدة داخلها) وكمية الحرارة المأخوذة منها (المطروحة) Q_o (الإنتاجية التبريدية لمبخر آلة التبريد أو الأجهزة التبريدية المتوضعة داخل الغرفة) وعكسا مع السعة الحرارية للمجموعة .

$$\frac{dt_R}{d\tau} = \frac{Q_T - Q_o}{C} \qquad (1.1)$$

إن المساواة $\frac{dt}{d\tau} = 0$ تتوافق مع الحالة التي تتساوى فيها كمية الحرارة المكتسبة مع كمية الحرارة المطروحة أي:

$$Q_T - Q_o \qquad (1.2)$$

معادلة التوازن الحراري في حالة وجود كسب حراري من مصادر مختلفة عند الاستقرار تأخذ الشكل التالي:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_0 \qquad (1.3)$$

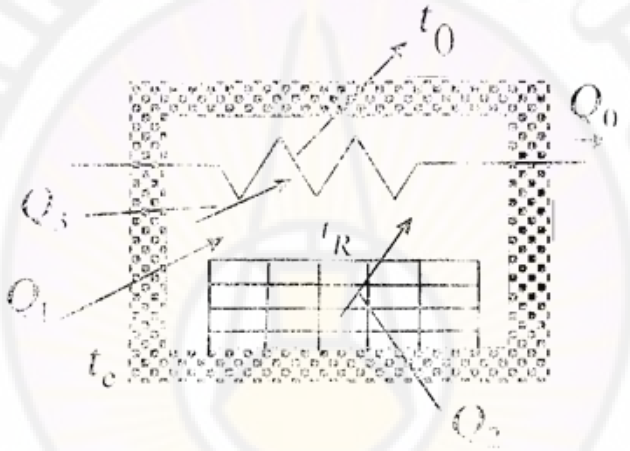
إذ:

Q_1– كمية الحرارة المتسربة عبر السطوح الخارجية.

Q_2– كمية الحرارة المتسربة عبر المواد المبردة.

Q_3– كمية الحرارة المتسربة عن مصادر مختلفة متوضعة داخل المكان المبرد (من الأشخاص والأجهزة والإضاءة والمحركات وغيرها) .

مخطط التوازن الحراري للمكان المبرد موضح على الشكل (٤-١) .



الشكل (٤-١)مخطط التوازن الحراري للغرف المبردة

إن هذا التوازن الحراري يحقق موقتاً وعبر فترة محددة كبيرة نسبياً عند شروط خارجية متغيرة. إذا أصبحت كمية الحرارة التي تكتسبها الغرفة المبردة أكبر من كمية الحرارة المطروحة أي $Q_1 + Q_2 > Q_0$ فإن درجة الحرارة t_R ترتفع . وإذا كان العكس أي $Q_1 + Q_2 < Q_0$ فإن درجة الحرارة في المكان المبرد تنخفض. ولذلك من الضروري معرفة العناصر التي تتعلق بها درجة الحرارة t_R . من أجل تسهيل الدراسة نعد المكان المبرد يكتسب حرارة من مصدر واحد فقط عبر السطوح الخارجية .

كمية الحرارة المتسربة عبر الجدران هي:

$$Q_T = K \cdot F_1 (t_0 - t_R), W \qquad (1.4)$$

إذ: K_1– معامل الانتقال الحراري للسطوح الخارجية $(W/m^2 °C)$

t_e - درجة حرارة الهواء الخارجي (°C)

F_1 - مساحة السطوح الخارجية.

كمية الحرارة المطروحة من المكان المبرد:

$$Q_O = K_O \cdot F_O (t_R - t_O) \cdot W \qquad (1.5)$$

إذ:

K_O - معامل انتقال الحرارة لأجهزة التبريد، $W/m^2 °C$

F_O - مساحة سطوح أجهزة التبريد، m^2

t_O - درجة حرارة وسيط التبريد، °C

عندئذ وفقاً للعلاقة (1.2) يكون:

$$K_1 \cdot F_1 (t_e - t_R) = K_O \cdot F_O (t_R - t_O) \qquad (1.6)$$

إذا تغيرت الشروط الخارجية، فمثلاً ارتفعت درجة الحرارة للهواء الخارجي فإن كمية الحرارة المتسربة الى المكان المبرد Q_T تزداد كما هو واضح من العلاقة (1.4) وتصبح أكبر من كمية الحرارة المطروحة Q_O وبالتالي ترتفع درجة حرارة هواء المكان المبرد. ازدياد درجة حرارة هواء المكان المبرد يؤدي إلى زيادة كمية الحرارة المطروحة حسب العلاقة (1.5) كما أن ازدياد درجة حرارة الهواء t_R يؤدي إلى إبطاء معدل زيادة التدفق الحراري إلى المكان المبرد حتى تتساوى كمية الحرارة المكتسبة مع كمية الحرارة المطروحة عند قيمة جديدة لـ t_R. الازدياد الذاتي لدرجة حرارة المكان المبرد يعد عاملاً يسهل التحكم بدرجة الحرارة ولكن لا يحل مسألة التحكم. إن قيمة درجة الحرارة المتحكم بها ذاتياً يمكن أن تتجاوز الحدود المسموحة ولأجل حفظها ضمن حدود معينة يجب التصرف بوسائل خارجية.

من العلاقة (1.6) يمكن إيجاد قيمة درجة الحرارة التوازنية لهواء المكان المبرد:

$$t_R = \frac{K_1 \cdot F_1 \cdot t_e + K_O \cdot F_O \cdot t_O}{K_1 \cdot F_1 + K_O \cdot F_O} \qquad (1.7)$$

من العلاقة (1.7) يمكن أن نجد تقييم آني يمكن بوساطتها تغير درجة حرارة الهواء t_R بالاتجاه المطلوب. في العلاقة (1.7) نجد ثلاث مجموعات من ثلاثي الفيزيائية: الثاني إلى

ت حدثنا المسار رقم ١:

$$\frac{dG}{dt} = 0 \quad \text{(1.10)}$$

تحرر الرطوبة من سطح نشع (تجفف) ΔG يقدر من قبل مقدار الرطوبة ، كما يمكن أن تكون الرطوبة من مقدار محتملة W يتم في تلك الحالة رطوبة بواسطة مقدار الرطوبة ، مقدار الرطوبة W يتم دفع تكاثف بحر لتحديد من الماء على سطح جبهة كثرت ، تتشكل في الغالب تكثف (بدون رطوبة) بحد شكل تشتي :

$$\Delta G = W - W \quad \text{(1.11)}$$

عند حدوث بدون رطوبة نتيجة تغير كمية الرطوبة المكتسبة ، تغير هذا يسعى حتى تتوازن في المقدار من حتى عند قيمة جديدة التوازن نتيجة ، فعند زيادة كمية الرطوبة المكتسبة في نتيجة تبخري من تعريف (1.1) تصبح كثر من نتيجة تعلن ، هذا ما يؤدي إلى زيادة رطوبة هواء ، تكثر تبخر تتشتت في زيادة كمية الرطوبة تتغير هذه W حتى يتحقق توازن من جديد عند قيمة على الرطوبة ، تتغير الرطوبة تتوازن نتيجة تبخر تتشكل تبخر ، تتناقص كمية الرطوبة ΔG تتم تحدد عن تشع تخضع تتحدد تبخر تتناقص الرطوبة :

$$\Delta G = f(K, A, t)(P_s - P_d), Kg/s \quad \text{(1.12)}$$

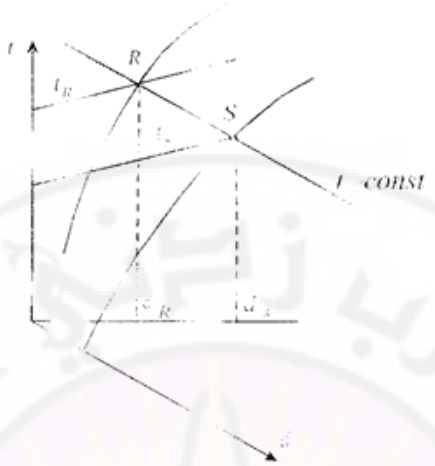
$f(K$ ... : عامل تبخر من سطح تشع ، Kg/(m² . s . mbar)

A : مساحة سطح تشع ، m²

P_s : ضغط تجزئي تتبخر في تبخر ، تشع في سطح تشع ، (mbar)

P_d : ضغط تجزئي تبخر تتم في هواء تغرفة ، (mbar)

عند زيادة مساحة سطح الرطوبة تتبخر في تغرفة تحفظ تتشكل تعلن تتناقص تتحدد تتبخر الرطوبة في درجة حرارة سطح هذه تتحدد تتبخر تتناقص الرطوبة تتحدد في قيمة أقل من درجة حرارة هواء تغرفة ، تقترب في درجة حرارة الرطوبة ، حتى تبخر ترتفع في تغرفة ، في سطح تشع تتساوى على تتحدد ، تتناقص تتشكل (١ - ٤) .



الشكل (٥-١)

حالة الهواء الرطب في الغرفة

عندئذ يمكن الحصول على العلاقات بين بارامترات هاتين الحالتين من التوازن الحراري لمقياس درجة الحرارة الرطبة، لأن كمية الحرارة المنتقلة بالحمل من هواء الغرفة إلى سطوح السلع تتحول بالكامل لتبخير الرطوبة من هذه السطوح .

$$\alpha_s (t_R - t_S) = \beta_s \cdot r \cdot (P_R - P_S)$$

إذ: α_s: عامل انتقال الحرارة ، $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$

r: حرارة التبخر ، (kJ / kg)

يمكن إعادة كتابة هذه العلاقة بالشكل :

$$P_R - P_S = A (t_R - t_S) \qquad (1.13)$$

إذ $A = \alpha_s / \beta_s \cdot r$ العامل السايكرومتري ويتعلق بسرعة جريان الهواء .

عندما يكون الضغط البارومتري 750 mm hg (1 bar) وسرعة الهواء 4 m/s فان A 0.5 وعند سرعة الهواء 0.8 m/s فإن A = 0.8 وعند سرعة الهواء 0.1 m/s فإن A 1.0 .

بما أن $\varphi_R = \frac{P_i}{P_R}$ فيمكن صياغة العلاقتين (1.12) و (1.13) بالشكل :

$$\Delta G = \beta_s \cdot F_s (P_s'' - \varphi_R \cdot P_R'') \qquad (1.12)$$

$$P_s'' - \varphi_R \cdot P_R'' = A(t_R - t_S) \qquad (1.13)$$

العلاقة الأخيرة تساعد بالتعبير عن قيمة P_s'' بدلالة بارامترات هواء الغرفة . ولكن هذه العلاقة لوغارتمية وهذا ما يعقد حل المسألة . من أجل تسهيل حل المسألة والحصول على معادلات بسيطة تساعد بشكل أوضح بوضع علاقات إجراءات تثبيت وتنظيم الرطوبة، يمكن عدّ العلاقة بين الضغط ودرجة حرارة بخار الماء المشبع خطية تقريباً لمجالات درجة الحرارة حتى 10 C لكل منها . أي يمكن أن نعتبر :

$$P = a + bt \qquad (1.14)$$

حيث a ، b ثابتان في المجال المعطى لدرجة الحرارة .

مثلاً لمجال درجة الحرارة من 0 °C وحتى 10 °C تأخذ العلاقة (1.14) الشكل:

$$P = 4.49 + 0.246\, t \quad mm\, hg$$

وللمجال من 10 °C وحتى 20 °C– فإن :

$$P = 3.27 + 0.119\, t \quad mm\, hg$$

إذا عوضنا قيمة درجات الحرارة في العلاقة (1.13) بدلالة ضغط البخار المشبع من العلاقة (1.14) نحصل على :

$$P_s'' - \varphi_R P_R'' = A\frac{P_R'' - P_s''}{b}$$

ومنه

$$P_s'' = P_R'' \frac{A + b\varphi_R}{A + b}$$

بتعويض قيمة P_s'' الموجودة بالعلاقة (1.12) نحصل على :

$$\Delta G = \beta_s F_s \left(P_R'' \frac{A + b\varphi_R}{A - b} - \varphi_R P_R'' \right)$$

أو

$$\Delta G = \beta_s F_s P_R'' \frac{1 - \varphi_R}{1 + b/A} \qquad (1.15)$$

العلاقة (1.15) تبين أن تبخر الرطوبة من سطح السلع يقل بازدياد رطوبة الهواء وينعدم نهائيا عندما يكون الهواء مشبعاً أي $\varphi_R = 100\ \%$. قيمة الجفاف تتعلق بدرجة حرارة الغرفة، أي أن ΔG تابع لـ P''_R وتنخفض بانخفاض درجة الحرارة .

وهذا يعود من جهة لسبب محولة جعل درجة الحرارة منخفضة في الغرف المخصصة لحفظ السلع . ومن الطبيعي بأن كمية الرطوبة التي تفقدها السلع تتناسب طرداً مع السطح الذي يتم خلاله التبخر . إن كثافة التبادل الكتلي المعبر عنها بعامل التبخر β_S تؤثر أيضاً على قيمة الجفاف . إن هذا الأخير يتعلق بسرعة حركة الهواء . نتيجة لذلك فإن جفاف السلع بوحدة الزمن يزداد بزيادة سرعة دوران الهواء . كمية الرطوبة المتكاثفة على سطوح أجهزة التبريد يعبر عنها بالعلاقة :

$$W_O = \beta_O \cdot F_O (\varphi_R \cdot P''_R - P''_O) \quad W_O = \beta_O \cdot F_O (P''_R - P''_O),\ kg/s \qquad (1.16)$$

إذ: β_O : عامل تكاثف البخار على سطوح أجهزة التبريد .

P : ضغط بخار الماء المشبع في سطوح أجهزة التبريد.

باستخدام العلاقة (1.15) و (1.16) يمكن كتابة علاقة توازن الرطوبة بالشكل :

$$\beta_S \cdot F_S P''_R \frac{1-\varphi_R}{1+\frac{b}{A}} + W = \beta_O \cdot F_O (\varphi_R P''_R - P''_O) \qquad (1.17)$$

من العلاقة (1.17) تحدد الرطوبة التوازنية لهواء الغرفة المبردة :

$$\varphi_R = \frac{\beta_S F_S + \beta_O F_O \frac{P''_O}{P''_R}(1+\frac{b}{A}) + \frac{W}{P''_R}(1+\frac{b}{A})}{\beta_S F_S + \beta_O F_O (1+\frac{b}{A})} \qquad (1.18)$$

لتبسيط العلاقة (1.18) يمكن أن نعتمد الرموز التالية :

$$\frac{\beta_S F_S}{\beta_O F_O} = f(F) \ , \quad \frac{P''_O}{P''_R} = \varphi_O \ , \quad 1-\frac{b}{A} = M$$

إذا علمنا أن قيمة كل من β_S، β_O بشكل تقريبي ثابتة وتقريباً متساوية فإن $f(F)$ تصبح عبارة عن نسبة سطح السلع إلى سطح أجهزة التبريد . إن المعنى الفيزيائي للقيمة φ_O سيتضح

بعد قسمة بعد ، قيمة تعمل M تتغير، عند مرحلة حرارة معينة ، سرعة معينة تتبخر ، تغير
.

يجد الرمز لمعادلة بالحسن في معادلة (1.18) وبعد قسمة نحصل عليه [1.1
حسب :

$$\frac{W\,M}{\beta\,I\,P} \qquad (1.19)$$

$$O \qquad \frac{f(I)+c\,M}{f(I)+M}$$

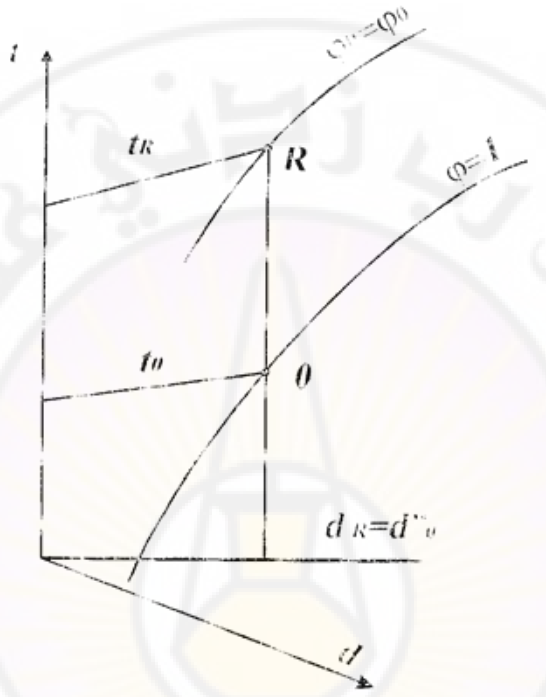
لمعادلة (1.19) تسمح بتحليل عدة خلول لعدد من مرحلة مفردة بتقنية رقائق البيرة ، في تغرفة
تبخيرة ، تشرس في تبادية تحسنة في حالة وجود رطوبة بكمية قصد من حدات تشبع و بعد
0 W عملية الرطوبة النوعية للبيرة ، O تعلق قدة بالرطوبة النسبة من سطح
تشبع بالمعادلة :

$$\frac{f(I)+c\,M}{f(I)+M} \qquad (1.20)$$

من لمعادلة (1.20) نجد أن رطوبة النوعية للبيرة ، O تتعلق بنسبة سطح تشبع على سطح
جيرة تشربة بقيمة O .

نميز حالتين تختلفن قيمة صغرية وقيمة عظمية لـ f(I) :

- سطح جيرة تشربة كبير جد بالمقارنة مع سطح تشبع ي $\beta_1 I_1 \ldots \beta_n I_n$ ، بالتالي
0 s f(I) ، لكن f(I) يمكن ن تساوي لصفر عند $\beta = 0$ ي عند حفظ تشبع عظمية لبخار .
في هذه لحالة في $O = O$ وبهذا تشكل بيرة ن O هي رطوبة النوعية لتغرف
تبخيرة، بما أنه عند O ، O يتبع ن يكون $\frac{P}{P} \quad \frac{P}{P}$ في تسوين لضغوط لجزيية
بخار وزه تساوي رطوبة نوعية $d_v \ldots d_1$ ، هذا يعني ن لنقطة R في مخطط I-d تبخير ،
رطب لكن يتوفق حالة تبيرة ، في لغرفة تبخيرة تقع على حط ثابت رطوبة نوعية نفس
غير لنقطة (I) لتي تصف حالة تبيرة فوق سطح جيرة تشربة
تشكل (٦ ١) . يمكن ن نقول بأن O هي صغر رطوبة نسبية يمكن ن تكون في غرفة
تبريد ذات درجة ، عند درجة حرارة سطح جيرة تشربة ، .



الشكل (٦- ١)

الرطوبة التوازنية للهواء في الغرفة المبردة

في حالة انعدام تولد الرطوبة

٢ - سطح أجهزة التبريد صغير جدا بالمقارنة مع سطح السلع أي أن $f(F) = \infty$. في هذه الحالة $\varphi_R = 1$.

إن استخدام العلاقة (1.20) غير محدد بهاتين الحالتين، بوساطتها يمكننا ليس فقط تحليل شروط تثبيت الرطوبة التوازنية للهواء ، بل تغييرها في الاتجاه المطلوب .

قبل كل شيء يمكن أن نؤكد بأن قيمة الرطوبة التوازنية للهواء تقع في المجال $\varphi_0 \leq \varphi_R \leq 1$ عندما يكون مصدر الرطوبة وحيداً أي فقط نتيجة التبخر على سطح السلع ، وعند ثبات درجات الحرارة للغرفة وسطح أجهزة التبريد فإن الرطوبة التوازنية تتعلق فقط بالنسبة بين

سطح السلع وسطح أجهزة التبريد. كلما قلت السلع الموجودة في الغرفة المبردة كلما انخفضت الرطوبة النسبية للهواء .

عند حفظ سلع مغلفة فإن قيمة عامل التبخر لهذه السلع يكون صغيرا بالمقارنة بعامل التكاثف على سطح أجهزة التبريد . هذا يؤدي إلى تخفيض قيمة f(F) وبالتالي تخفيض رطوبة الهواء في الغرفة .

في حالة ضرورة تثبيت الرطوبة النسبية عند قيمة معيّنة بين φ_0 و 1 فحسب العلاقة (1.20) يمكن أن نجد القيم التي نؤثر فيها لتغير الرطوبة النسبية للهواء في الاتجاه المرغوب ، مثل φ_0 و f(F) .

تتغير قيمة التابع f(F) عند تغير قيمة F_0 و β . قيمة φ_0 تتعلق بدرجة حرارة السطح t_0.

بهذا الشكل فإن التحكم بالرطوبة النسبية يمكن أن يتم بمساعدة العوامل نفسها التي تستخدم للتحكم بدرجة حرارة الهواء في الغرفة المبردة أي بتغير درجة حرارة سطح أجهزة التبريد ، سرعة جريان الهواء ودرجة حرارة المكان المبرد . إلا أن هذه العوامل في حالتنا هذه تؤدي إلى تغير الرطوبة النوعية للهواء وبنتيجتها تزداد أو تنقص شدة التبخر على سطح السلع وشدة التكاثف على سطح أجهزة التبريد . إن هذا يؤدي إلى تعقيد عملية التحكم بالرطوبة النسبية ودرجة الحرارة .

إجراء تنظيم الرطوبة النسبية للهواء يتمتع بخاصية الاتجاه الواحد وذلك بسبب الفقدان الدائم للرطوبة النوعية للهواء نتيجة التكاثف المستمر على أجهزة التبريد. لذلك في أغلب الحالات يطلب فقط ترطيب الهواء وبالتالي زيادة الرطوبة النسبية. في الحالات التي يطلب فيها تخفيض الرطوبة يمكن تجفيف الهواء بمساعدة نفس العوامل الداخلة في العلاقة (1.20): بتخفيض درجة حرارة سطوح التبريد، بزيادة مساحة سطوح أجهزة التبريد (عند درجة حرارة ثابتة) وزيادة شدة التبادل الكتلي أو الرطوبة (بزيادة β_0)، مثلاً بزيادة سرعة جريان الهواء .

ترطيب هواء الغرفة المبردة يمكن أن يتم بوساطة بخار الماء أو بقطرات الماء المرذذة. إجراء خلط الهواء الرطب ببخار الماء يتم تقريبا بشكل إيزوترمي لأن ترطيب الهواء بالبخار يؤدي إلى ارتفاع قليل لدرجة حرارة الهواء.

إذا أخذنا بالحسبان العلاقة (1.20) فإن العلاقة (1.19) يمكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$\varphi_R = \varphi_R^{'} + \frac{WM}{P_R^{''}\beta_0 F_O\left[f(F)+M\right]}$$

وبالتالي كمية الرطوبة اللازمة لترطيب هواء الغرفة للحفاظ على الرطوبة النسبية φ_R تكون:

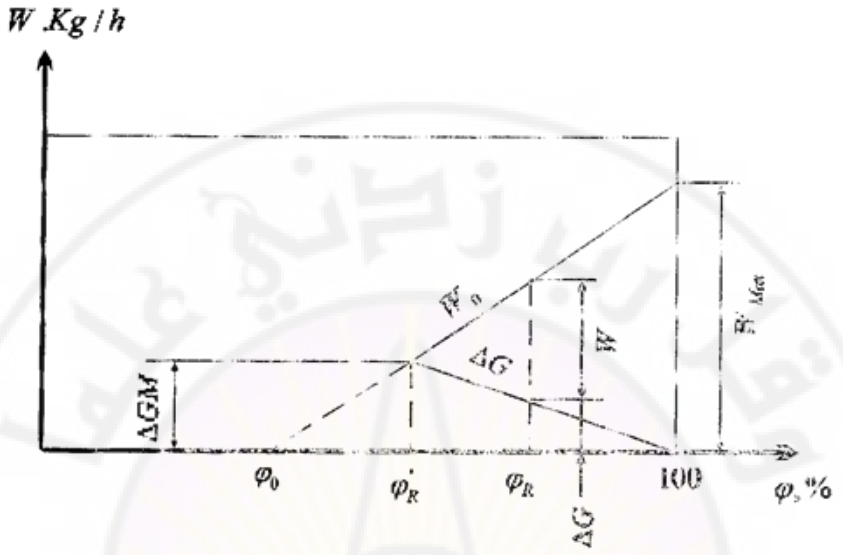
$$W = (\varphi_r - \varphi_R)\frac{P_K''\beta_{..}F_0\left[f(F) + M\right]}{M} \qquad (1.21)$$

العلاقة (1.21) تسمح لنا بتجنب النتائج الخاطئة المحتملة من العلاقة (1.11) . يمكن الظن أن إيقاف عملية الجفاف ΔG عند أية قيمة للرطوبة النسبية للهواء حتى ولو كانت صغيرة يكفي لإعطاء الغرفة المبردة نفس القيمة من بخار الماء . لكن يظهر بأن التقليل من الجفاف بإضافة بخار ماء للهواء يمكن فقط في حالة كون الرطوبة النسبية للهواء φ_R اكبر من φ'_R لأن قيمة W يمكن أن تكون موجبة فقط عند $\varphi_R > \varphi'_R$.

العلاقة بين عناصر توازن الرطوبة موضحة على الشكل (١ - ١) عند قيم مختلفة للرطوبة φ_R للهواء . عند قيمة معينة f(F) وعند درجة حرارة محددة لهواء الغرفة t_R تستقر في الغرفة المبردة الرطوبة النسبية φ'_R . توافق φ'_R عند الشروط المحددة قيمة أعظمية لجفاف السلع ΔG_m. بعد ذلك إذا اعطينا هواء الغرفة المبردة كمية من الرطوبة مثل بخار الماء فإنه بارتفاع رطوبة الهواء يقل جفاف السلع . رغم أنه عند زيادة رطوبة الهواء فإن كمية الرطوبة اللازمة لإشباعه تقل إلا أن كمية الرطوبة اللازم إعطاؤها تزداد وذلك بسبب زيادة التكاثف على أجهزة التبريد .

كمية الرطوبة الأعظمية اللازمة لإشباع الهواء يمكن الحصول عليها من العلاقة (1.21) وذلك بعد تعويض φ'_R بقيمتها من العلاقة (1.20) .

$$W_{max} = (1-\varphi_{..})P''_{..}\beta_{..}F_0 \; kg/s \qquad (1.22)$$



شكل (٧ ١) تغير عناصر التوازن عند ترطيب هواء الغرفة المبردة

من الشكل (٧ – ١) يتبين بأن كامل كمية الرطوبة المعطاة تتكاثف على أجهزة التبريد.
في حالة انعدام التبخر من سطوح السلع وعندما تكون رطوبة الهواء المحددة φ_R اكبر من φ_0 فلتثبيت الأولى يجب إعطاء كمية رطوبة بالمقدار التالي:

$$W = (\varphi_R - \varphi_0)\, P'' \beta_O V_0 \qquad (1.23)$$

من العلاقات (1.21) وحتى (1.23) يتبين بان كمية الرطوبة اللازم إعطاؤها لترطيب هواء الغرفة المبردة تتعلق فقط برطوبة المحددة، فهي تزداد بازدياد درجة حرارة الهواء عند زيادة سطح أجهزة التبريد وزيادة شدة الانتقال الكلي . ان زيادة رطوبة الهواء في الغرفة المبردة باعطائه كمية من الرطوبة لا يتطلب زيادة سطح أجهزة التبريد، ولكن بهذه الحالة تزداد الإنتاجية التبريدية اللازمة للضاغط ويتشكل الثلج على أجهزة التبريد وهذا يعدّ من أهم عيوب هذه الطريقة . عندما تكون الإنتاجية التبريدية للمحطة كافية فإن ترطيب الهواء بإعطائه كمية من الرطوبة (الندى) لا يبدي تأثيرا ملموظاً في درجة الحرارة في امكان المبرد .

مسألة محلولة

أوجد الرطوبة التوازنية في غرفة لحفظ البيض واحسب المجموعة اللازمة للحفاظ على الرطوبة المطلوبة لهواء الغرفة عند الشروط التالية:

درجة حرارة هواء الغرفة $T_R = -2\ ^\circ C$ ، الرطوبة التكنولوجية اللازمة للهواء في الغرفة φ_R = 85 %، نظام التبريد هوائي ، سطح مبرد الهواء من الأنابيب المربشة $F_{s1} = 535\ m^2$ ، كمية البيض $G = 490\ T$ ، علما أن البيض متوضع في علب كرتونية .

الحل:

الرطوبة التوازنية φ'_R للهواء عندما يكون التيار الكتلي ناتج فقط عن التبخر من سطح السلع تساوي :

$$\varphi'_R = \frac{f(F) + \varphi_0 M}{f(F) + M}$$

إذ:

$$f(F) = \frac{\beta_s F_s}{\beta_0 T_0}$$

حسب المعطيات التجريبية لمعهد ليننغراد للصناعات التبريدية فإن قيمة معامل التبخر بالنسبة للبيض المتوضع في علب $\beta_S = 0.1 g/(m^2.h.mmhg)$ أما معامل التكاثف بالنسبة للمبردات الهوائية المصنوعة من أنابيب مربشة فإن القيمة الوسطية له $\beta_0 = 12.5\ g/(m^2.h.mmhg)$.

بالنسبة لسطح السلع المحفوظة ، البيض ذي الكتلة 45.5 g وقطر وسطي 45 mm فإن سطح البيضة الواحدة $f_1 = 61.5\ cm^2$ ، سطح البيض لكل 1 kg منه $f_k = 0.150\ m^2/kg$ وبالتالي فإن :

$$F_s = 490 \cdot 10^3 \cdot 0.150 = 73.5 \cdot 10^3\ m^2$$

وعندئذ :

$$f(F) = \frac{0.1 \cdot 73.5 \cdot 10^3}{12.5 \cdot 535}$$

الرطوبة النسبية الأصغرية للهواء φ_0 عند درجة الحرارة المعطاة لسطوح حرارة المبرد :

$$\varphi_0 = \frac{P_s}{P_R}$$

إذا علمنا أن درجة حرارة سطحا مبرداً الهواء t_0=-10°C فإن ضغط بخار الماء المشبع فوق سطوح أجهزة التبريد:

$$P''_0 = 2.14\ mmhg = (2.85\ mbar)$$

• ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة الغرفة t_R=+2°C يكون :

$$P''_R = 3.95\ mm\ hg = 5.26\ m\ bar$$

عندئذ :

$\varphi_0 = 54\%$ و ، $\varphi_0 = \frac{2.14}{3.95} = 0.45$ ويفرض أن سرعة الهواء ، صغيرة فإن:

$$M = 1 + \frac{b}{A} = 1 + \frac{0.246}{1} = 1.246$$

عند هذه المعطيات فإن:

$$\varphi_R = 75.5\%$$ أو ، $\varphi'_R = \frac{1.1 + 0.54 \cdot 1.246}{1.1 + 1.246} = \frac{1.744}{2.346} = 0.755$

أي أن $\varphi'_R < \varphi_R$. وبهذا الشكل في الغرفة المبردة تستقر الرطوبة النسبية للهواء تحت الرطوبة المثلى ، وهذا يحتم ضرورة ترطيب الهواء .

كمية الرطوبة (W,kg/h) ، التي يجب أن تعطى للغرفة لتحافظ على الرطوبة الضرورية تحدد بالعلاقة :

$$W = (\varphi_R - \varphi'_R)\frac{P''_R \beta_0 F_0 [f(F) + M]}{M} =$$

$$= (0.85 - 0.755)\frac{3.95 \cdot 12.5 \cdot 10^{-3} \cdot 535(1 + 1.246)}{1.246} =$$

$$0.095\frac{26.5 \cdot 2.346}{1.246} = 4.75 kg/h$$

الشكل (٨ – ٩) يوضح مخططاً لترطيب الهواء بتغذية الغرفة المبردة ببخار الماء . عند انخفاض رطوبة الهواء إلى أقل من (85%) فإن حساس الرطوبة ينقل إشارة للمنظم المغناطيسي CB ، الذي يفتح ويمرر البخار في الأنبوب إلى فوهات متوضعة عند مجرى الهواء بجانب فتحات خروج الهواء .

كمية الرطوبة AG ، المتبخرة من سطوح السلع يمكن أن تحدد بالعلاقة التالية :

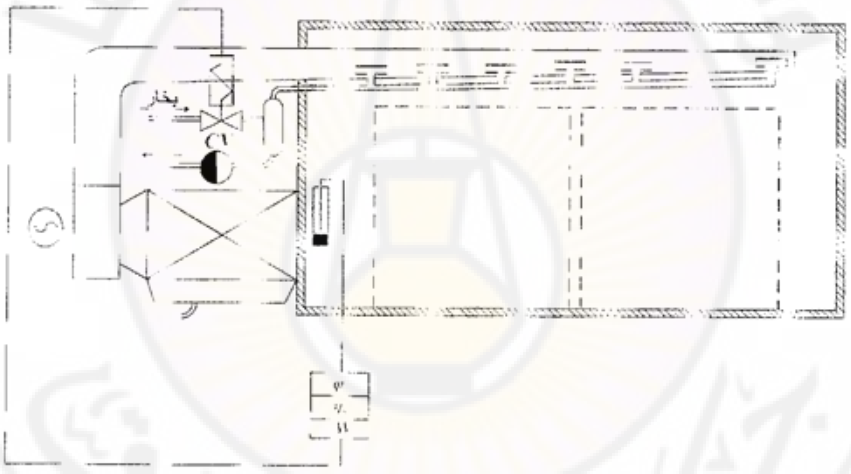
$$\Delta G = \beta_S . F_S . P_R \frac{1-\varphi_R}{M} =$$

$$= 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 73.5 \cdot 10^{2} \cdot 3.95 \frac{1}{1.246} \cdot \frac{0.85}{1.246} \cdot 29 \frac{0.15}{1.246} = 3.5 kg/h$$

معدل جفاف تسبغ خلال شهر واحد:

$$\Delta G' = \frac{\Delta G \cdot 24.30}{G} \cdot 100 = \frac{3.5 \cdot 720}{4900} = 0.515\%$$

إن هذه القيمة قريبة جداً من القيمة المعيارية لجفاف البيض والتي تشكل 0.5 % خلال شهر من الحفظ.



الشكل (٨ – ١) مخطط نظام ترطيب الهواء في غرفة التبريد.

الثاني

تخطيط البرادات

٢ - ١ - حساب مساحة البرادات:

تحدد مساحة البراد حسب السعة الاصطلاحية له انطلاقا من معدل التخزين لكل 1 m^2 من مساحة الغرفة أو لكل 1 m^3 من حجمها . إن معدل التخزين يختلف باختلاف المواد، خصائصها ومتانتها وبناء على ذلك تم وضع معدلات للتخزين منسوبة لواحدة المساحة او لواحدة الحجم . الجدول (2-1) يوضح قيم معدلات التخزين لبعض السلع T/m^3 و .

جدول (1 - 2)

المواد الغذائية	معدل التخزين T/m^3
لحم بقر مجمد بأربع قطع	0.40
بنصفين وبأربع قطع	0.35
لحم مجمد معبأ في صناديق كرتون	0.65
لحم طيور مجمد ومعبا في صناديق خشبية	0.35
سمن حيواني معبأ في صناديق خشبية	0.70
زبدة وشحوم حيوانية مغلفة بشكل باكيتات	0.54
بيض معبأ في صناديق خشبية	0.32
معلبات	0.60
فواكه مختلفة معباة في صناديق خشبية	0.35
أجبان معبأة في صناديق خشبية	0.48
قريشة معبأة في براميل	0.40
سمك مجمد:	
مفروط	0.35
مرصوص في كدل	0.40
مواد مختلفة	0.30

معدل التخزين على $1\ m^2$ من مساحة الغرفة النبريدة:

$$q_v = q_1 . h_l \qquad (2.1)$$

h_l : الارتفاع السلعي أو منسوب السلع، ويتعلق بعدد الطوابق، ارتفاع غرفة التبريد ، و وجود تجهيزة التبريد في السقف .... الخ . للبرادات وحيدة الطابق $h_l = 4.5 \div 7\ m$ وللبرادات متعددة الطوابق $h_l = 2.8 \div 4.5\ m$.

معدل التخزين لكل $1\ m^2$ من مساحة سطح الأرض لغرف برادات المؤسسات التجارية والغذائية موضحة في الجدول (2 - 2) .

جدول (2 - 2)

الغرفة (حسب المواد المحفوظة)	درجة حرارة الهواء في الغرف	q_1 . [kg/m²] في المؤسسات التجارية	q_1 . [kg/m²] في المؤسسات الغذائية
غرفة لحفظ اللحوم	-1 ÷ +1	150	125
غرفة لحفظ السمك	-3 ÷ -1	300	220
غرفة لحفظ الجبن والشحوم	2 ÷ 4	300	170
غرفة لحفظ المأكولات والمشتقات	2 ÷ 4	150	150
غرفة لحفظ الفواكه والخضار	4 ÷ 6	100	100
غرفة لحفظ المواد نصف الجاهزة	4 ÷ 6	100	100
غرفة لحفظ الحلويات والسكاكر	6 ÷ 8	100	100

الحجم الصافي لغرف الحفظ:

$$V = \frac{E}{q_v} . [m^3]$$

إذ: E– السعة الاصطلاحية بالطن للبراد (وزن المواد وملحقاتها).

q_v- معدل التخزين T/m^3.

المساحة السلعية لغرف الحفظ:

$$F_i = \frac{V_i}{h_i}, [m^2]$$

المساحة الإنشائية للغرف تحدد بالعلاقة:

$$F_b = F_i + \Sigma F_j$$

إذ: ΣF_j - مجموع المساحات غير المفيدة، التي تشغلها الأعمدة، و أجهزة التبريد، والممرات للأشخاص والآلات الشحن والتفريغ (الرافعات الشوكية)، والمساحة اللازمة لحركة التفريغ والشحن، والفراغات ما بين أكوام السلع من جهة والجدران وأجهزة التبريد من جهة أخرى.

عرض الحيّز بين الجدران أو أجهزة التبريد والمواد المحفوظة تؤخذ 0.3 m. في الغرف التي تستخدم فيها آلات الشحن والتفريغ تترك ممرات بعرض 2.2 m وبعرض 1.2 m في حال عدم استخدام الآلات. إذا كان عرض الغرفة 18 m ÷ 12 يترك ممر واحد، وإذا كان العرض أكبر من 18 m يترك ممر لكل 12 m من العرض.

خلف مدخل الشحن مباشرة من المناسب ترك مساحة لحركة الشحن والتفريغ بمقياس 3.5 × 3.5 m.

المساحة الإنشائية يمكن ان تحدد بمساعدة معامل استخدام المساحة الإنشائية للغرف β والذي يساوي نسبة المساحة السلعية إلى المساحة الإنشائية.

$$\beta = \frac{F_i}{F_b}$$

ومنه:

$$F_b = \frac{F_i}{\beta}$$

إن المعامل β يأخذ بالحسبان المساحات غير المفيدة.

إن قيم معامل استخدام المساحة الإنشائية مبينة أدناه وذلك تبعاً لمساحة الغرف m^2.

المساحة الإنشائية للغرف m^2	معامل استخدام المساحة β
حتى 50	
50 ÷ 300	0.75 ÷ 0.8
أكثر من 300	0.85

عند حفظ البذور بشكل معقم وعلى درجات حرارة منخفضة في مصارف البذور، تكون فترة الحياة الاقتصادية للبذور طويلة جداً. ويمكن أن تحدد بالاعتماد على معدل التحمل الذي يكون عادة 85% من قيمة الإنبات الأصلية. وتتحدد بوحدة السنة (250 إلى 300 يوم).

في هذه الحالة في المسألة الإنسب لتعريف حفظ البذور هي:

$$l = \frac{l}{q}$$

حيث: l سعة تعريف الحفظ.

في الإمكان للمحاصيل التي يكون فيها كمية الإنتاج معتدلة، فإن تكلفة يوم واحد $1 \cdot (1\,day)$ وعلى فرض أن سعة تعريف l في المسألة الإنسب تحسب بالعلاقة:

$$l = \frac{l}{q} \cdot m$$

حيث: l الإنتاجية بالبذور، $1\,day$.

q سعة تعريف تحرير (بذور)، day.

إن المسألة المدروسة على سبيل معدل تحرير q تكون في حالة الاقتصاد على معدل تحرير لكل $1\,m$ من فترة الحفاظ بسعة (يساوي تقريباً $280\ kg/m$ إلى $300\ kg/m$).

فتكون تحرير في الحفاظ بسعة:

$$l = \frac{l}{q}$$

حيث: q معدل تحرير لكل $1\,m$ من فترة الحفاظ بسعة kg/m.

يعرف فترة الحفظ بسعة بشكل حسب عند الحفاظ (تخزين)

$$n = \frac{l}{}$$

حيث: فترة حفظ بحد m.

يوجد تسعة أنواع من كل خطوط هو $0.8\ m$ والمسافة بين نهاية الحفاظ بالتخزين $1\,m$.

ويمكن في مقياس تعريف بوحدة بالعلاقة:

عرض تعريف: $B = 0.8 \cdot (n \cdot 1) + 2$

فترة تعريف: $S = l \cdot 2$

المسافة الإضافية: $l = \{0.8 \cdot (n-1) + 2\} + (l \cdot 2)$

٢ – ٢ – حساب أطوال الأرصفة:

كي تتم عملية الشحن والتفريغ بسرعة وبشكل جيد ، فقد يجب أن تبنى قرب الرصيف سكة أو عدة سكك . تجهز القرى التي لها عدة أرصفة للسكك الحديدية بمسارات للدخول والخروج من الشكل (إذا كان النقل منتظم) .

ارتفاع أرصفة الموانئ المعدة للإطلاق يجب أن يتناسب مع ارتفاع أرصفة عربات القطار ، ومستوى مسارات النقل . ارتفاع الأرصفة المخصصة لمسارات النقل يوخذ 1,2 m .

طول الأرصفة يحدد بالحساب وحسب كمية البضائع الواردة إلى القرية أو المرسلة منها . بالنسبة لقرى توزيع كمية البضائع الواردة في اليوم تتعلق بالكمية الإعظمية للبضائع الواردة إلى القرية في الشهر .

$$G_{max} = G_{m.max} / 30$$

$$G_{max} = G_{m.max} / 26$$

حيث : G_{max} كمية البضائع التي ترد إلى القرية في اليوم .

$G_{m.max}$ كمية البضائع التي تفرغ (تشحن) من القرية في اليوم .

$G_{m.max}$ القيمة الإعظمية لكمية البضائع التي ترد إلى القرية في الشهر بالطن .

30 , 26 عدد الأيام في الشهر (في أيام العطل لا يتم تشغيل معدات القرية) .

حسب وظيفة القرية يمكن وجود في نفس الوقت الواردة و المرسلة من القرية توزع حسب مختلف طرق وسائط النقل (السكك الحديدية، الطرقية، السيارات الشاحنة) .

مثلا يرد إلى القرية 50 % من البضائع بوساطة النقل في قاطرات السكك الحديدية و 30 % بوساطة السيارات الشاحنة ويرسل من القرية 20 % من البضائع بوساطة قاطرات السكك الحديدية و 80 % بوساطة السيارات الشاحنة . عندئذ كمية البضائع التي ترد ويرسل من القرية عن طريق السكك الحديدية (1 day) :

$$G_{rr} = 0,5\ G_{max} + 0,2\ G_{max}$$

وبوساطة السيارات الشاحنة

$$G_{rr} = 0,3\ G_{max} + 0,8\ G_{max}$$

عدد مقطورات السكك الحديدية التي ترد إلى وصيف القرية في اليوم :

$$n = \frac{G_{rr}}{g}$$

إذ: g_R- حمولة المقطورة الواحدة ، ويؤخذ بحدود 25 T .

عدد المقطورات التي تصل إلى رصيف البراد في وقت واحد :

$$n_l = m \cdot n / \Lambda$$

إذ: $m = 1 \div 1.5$ عامل يراعي عدم انتظام ورود المقطورات إلى البراد .

Λ- عدد مرات ورود المقطورات إلى رصيف البراد في اليوم $4 \div 1 = \Lambda$.

طول الرصيف المخصص لمقطورات السكك الحديدية يعطى بالعلاقة :

$$L_R = n_l \cdot l = n \cdot m \cdot l / \Lambda$$

إذ: l- طول مقطورة السكك الحديدية ويؤخذ بمعدل 25 m لأربع عربات .

عدد السيارات الواردة إلى رصيف البراد في اليوم :

$$n_B = \frac{G_R}{g_B \eta_B}$$

إذ: g_B- حمولة السيارة (القيمة الوسطية). $3 \div 5$ T .

η_B- عامل استخدام حمولة السيارة يؤخذ $0.7 \div 0.5 = \eta_B$.

طول رصيف السيارات يعطى بالعلاقة :

$$L_B = \frac{n_B . b_B . \Psi . \tau . m_B}{8}$$

إذ: b_B- طول صندوق السيارة مع عدّ المسافة بين السيارات عند الوقوف على الرصيف ، $b_B = 3 \div 4$m .

ψ- النسبة من عدد السيارات التي تصل إلى الرصيف خلال الوردية النهارية وتؤخذ عادة $\psi = 0.6 \div 1$.

τ- زمن شحن أو تفريغ سيارة شحن واحدة يؤخذ عادة $\tau = 0.5 \div 0.75$ h .

m_B- عامل عدم انتظام وصول السيارات، يمكن أن نعدّ $1.5 \div 1 = m_B$.

طول الممرسى (للنقل المائي) يمكن أن يحدد بالعلاقة:

$$L_\omega = \frac{G_\omega . \ell_\omega . \tau_\omega . m_\omega}{g_\omega . 24}$$

٣ ٢ ٢ – حساب عدد الآليات اللازمة لنقل المواد ضمن البراد:

عدد الميكانزمات (الآليات) الضرورية لإجراء عمليات الشحن والتفريغ يحسب بنتيجة قسمة حجم العمل لليوم الواحد على حجم العمل الذي يمكن أن ينجزه ميكانزم واحد خلال الوقت نفسه (عند ذلك حجم العمل يمكن أن يعبر عنه بحجم كمية المواد المنقولة خلال دورة عملية واحدة والذي يتضمن زمن شحن الميكانزم، وحركته إلى مكان التفريغ، وتفريغ الميكانزم وحركته إلى مكان الشحن) .

الميكانزمات الأساسية المستخدمة لرفع المواد في البرادات متعددة الطوابق هي المصاعد . عدد المصاعد n_l يحسب على أساس المجموع الأعظمي للمواد الداخلة إلى البراد والخارجة منه :

$$n_l = \frac{\left|(G_{a1} + G_{d1}) - (G_{a2} + G_{d2})\right| \tau_l \cdot \psi_l}{g_l \cdot \eta_l \cdot 480}$$

إذ: G_{a1} – كمية المواد الداخلة إلى الطابق الأول للبراد T/day .

G_{d1} – كمية المواد الخارجة من الطابق الأول البراد T/day .

τ_l – الزمن اللازم لإنجاز دورة كاملة للمصعد وتقدر بحدود (6 ÷ 10 min) .

ψ_l – النصيب من الحجم الكلي لعمليات الشحن المنجز خلال الوردية الأولى (النهارية) وتوخذ $\psi_l = 0.5 \div 0.7$.

g_l – حمولة المصعد بالطن، الحمولات المتوسطة 2 ÷ 3T والكبيرة 3 ÷ 4T .

η_l – عامل استخدام المصعد يؤخذ 0.7 ÷ 0.8 .

عدد الميكانزمات الأخرى المستخدمة لإنجاز أعمال الشحن (عربات نقل أجهزة التصنيف، أجهزة الشحن الأوتوماتيكية) :

$$n_m = \frac{(G_{a1} + G_{d1}) \cdot \tau_m \cdot \psi_1 \cdot 1.2}{g_m \cdot \eta_m \cdot 480}$$

إذ: τ_m – الزمن اللازم لإنجاز دورة واحدة للميكانزم يؤخذ في الحسابات الأولية 6 ÷ 10 min .

g_m – حمولة الميكانزم (حمولة الميكانزمات المستخدمة في البرادات 0.5 ÷ 0.7 T).

[illegible] عامل أمان زيادة عند الميكانيكا (عادة 1.5 إلى 2.0 إلى الميكانيكا يكون بعد
بعض التجارب والقياس والحساب).

[illegible] في كل قياس لكل قطعة أو [illegible] في حالة عدم توفر [illegible] في
[illegible] في حالة توفر [illegible] في الميكانيكا.

٤-٢- مبادئ تخطيط وتصميم البرادات:

عند تخطيط برادة من أحد الأعمال لابد من تحقيق الشروط التالية حسب
طرق التشغيل (الخراطة، الثقب، التفريز).

ثم نحسن على تخطيط أفضل يتضح بالنقاط التالية:

١- يجب أن يتطابق محور البرادة مع محور الجزء المراد تشغيله في أقصر
طول ممكن لتقليل زمن العملية التكنولوجية.

٢- تقليل عدد ما يمكن من تغيير وضع الجزء أثناء التشغيل.

٣- أن لا تكون حركة القطع بالاتجاه المعاكس لاتجاه حركة التغذية
في أثناء التشغيل لتجنب القطع عن الوسط، وذلك من أجل تشغيل الأجزاء
الرقيقة، خاصة في الطرق الأولى بعد تثقيب الجزء المجوف أو الجزء الذي
تم وضعه في المقبرة في الأعلى.

٤- تفصل أثناء التشغيل الأجزاء المقطوعة عن بعضها بمسافة من ثلاث أجزاء على
الأقل في أثناء التشغيل بحيث تتحرك أجزاء القطع بحرية.

٥- من الضروري أن يتم تحديد [illegible] في البرادة بحيث يمكن
استخدام أي [illegible] لتشغيل نفس الجزء من معمل واحد أو
كل الجزء يمكن من تشغيله [illegible] أن تتحكم بحركة البرادة
[illegible] الجزء المراد تشغيله بحيث تعرف بحيث تعرف [illegible] شكل وحجم
وسطح.

٦- يوضع عرض البرادة المقطوعة لتطبيق بما لا يزيد عن (40 mm) كما يوضع عرض
البرادات وحيدة التطبيق مساويا (8، 12، 48، 60، 70) mm. نسبة عرض البرادة إلى
طولها تساوي عادة (1:2 ، 1:1.5) وعند التطبيق يجب أن لا تزيد عن (1:6).

٧- تقاعة توضع شبكة الأعمدة في المنزلات متعددة الطوابق بشكل مستطيلات
6 × 6 m؛ وفي المتوسطة بكثير 12 m × 18,6 أو 18,6 × 18,6 m .

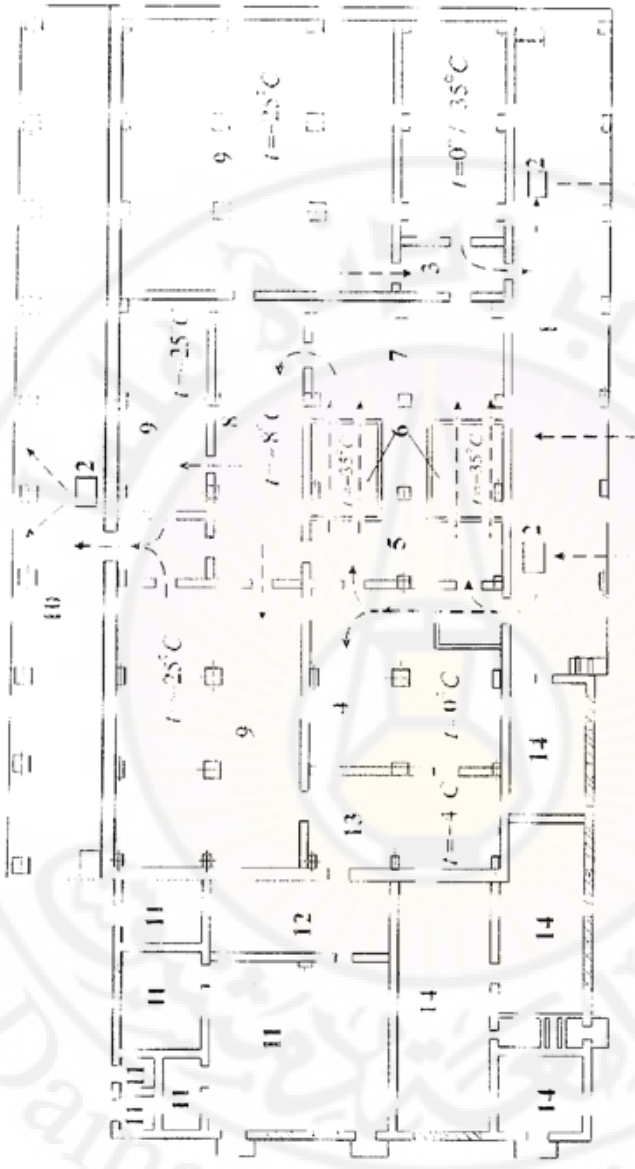
٨- الارتفاع الطابقي (من الأرض حتى السقف) في المنزلات متعددة الطوابق يأخذ
بمجال 3 ÷ 3,6 m (من مضاعفات 0,6 m) ؛ وبهذا تتراوح المنزلات ذات الطوابق
الارتفاع الطابقي 2,9 ÷ 3,6 m . ويمكن أن يوجد في الطابق الأعلى غرف
ارتفاعها 2,2 ÷ 2,8 m . ويمكن أن يوجد ارتفاع المنزلات وحيد الطابق حتى 6 m ؛ في هذه الحالة يعتبر المنزل
الارتفاع وحيد الطابق على غرفة واحدة .

٩- لا ينصح بوضع الغرف ذات الرطوبة المرتفعة في الطوابق العليا من الناحية الاقتصادية ؛
وفي الطوابق السفلى ينفصل أن تكون الغرف ذات الرطوبة المرتفعة
مؤسسة بجدران بعضها .

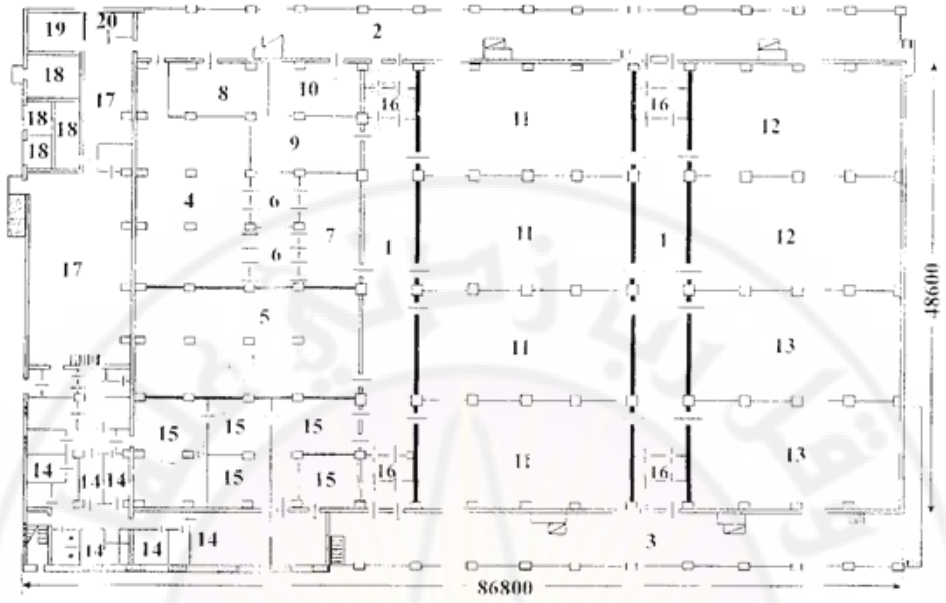
١٠- في المنزلات متعددة الطوابق ينفصل أن يكون مخرج الغرف متصلاً على ممرات
السلالم أو على ممرات مستقلة ، ينفصل أن تكون المصاعد الكهربائية الخارجية
للبناء ، وأن تكون المصاعد مخرج للهروب على الأقل مصعد واحد .

عند تصميم المنزلات المربعة يأخذ بعين الاعتبار الغرف الحافظة للحرارة (20 ÷ 30°C)
من سعة المنزل الغرف الحافظة للحرارة (35 ÷ 50) ، الغرف الحافظة للحرارة
الجزئي العادي (10 ÷ 15°C) ، وقد تكون بعض الغرف تتطلب الغرف الحافظة للحرارة
المجمدة (-30°C) ، الغرف المخصصة (-10°C) ، الغرف الحافظة للحرارة المبردة (2 ÷ 8°C)
والغرف ذات الحافظة الحرارية العادية (12 ÷ 30°C) ، الرطوبة الحرارية
في الغرف المذكورة تكون بالتالي : (-20) ، (-5 ÷ -30) ، (-20 ÷ -10) ، (30 ÷ 50) .
في المنزلات المتوسطة وحيدة الطابق المخصص (3 ÷ 5) غرف الحافظة للحرارة المجمدة مساحتها
من (300 ÷ 600 m²) ، (4 ÷ 5) غرف الحافظة للحرارة المبردة مساحتها حتى (500 m²) ،
غرفة ذات الحافظة الحرارية العادية مساحتها حتى 300 m² .

الشكل (1 - 2) يوضح المخطط المنزل الحافظ للحرارة . تجد الحركة
الداخلية بين بوابة السيارات والمخلفات ، على سبيل المثال ، الخط الأحمر .



يتم وزن السمك باستخدام الميازين 2 وبعدها ينقل السمك عبر المدخل 3 إلى غرفة التكويم 4 ، وهي ضرورية لتخفيف ورود السمك الى البراد . من غرفة التكويم أو من الرصيف مباشرة (عندما يكون الورود منتظما) ينقل السمك إلى الغرفة 5 ومنها يمرر السمك إلى أنظمة التجميد) بشكل أربعة خطوط متوازية . السمك المجمد يفرغ في الغرفة 7 وينقل إلى غرفة



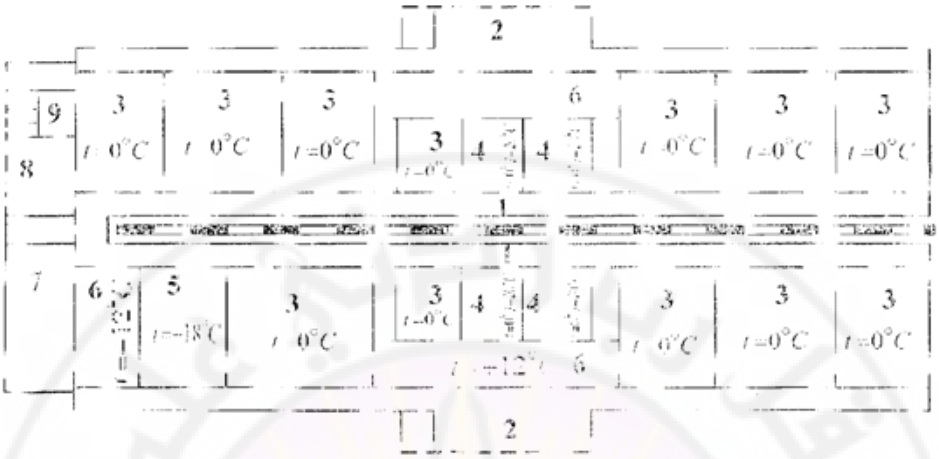
الشكل (٢ - ٢)

مخطط توزيعي لبراد وحيد الطابق مع ممرات من أجل الات النقل

١-ممر، ٢- رصيف الخط الحديدي، ٣- رصيف للسيارات، ٤- مكان تكويم اللحوم،

٥- غرفة لحفظ اللحوم المبردة، ٦- غرفة تجميد اللحوم، ٧- تفريغ اللحوم، ٨- استقبال السمك، ٩- تغليف السمك، ١٠- غرفة الحفظ قصير الأمد للمنتجات (المعيوبة).

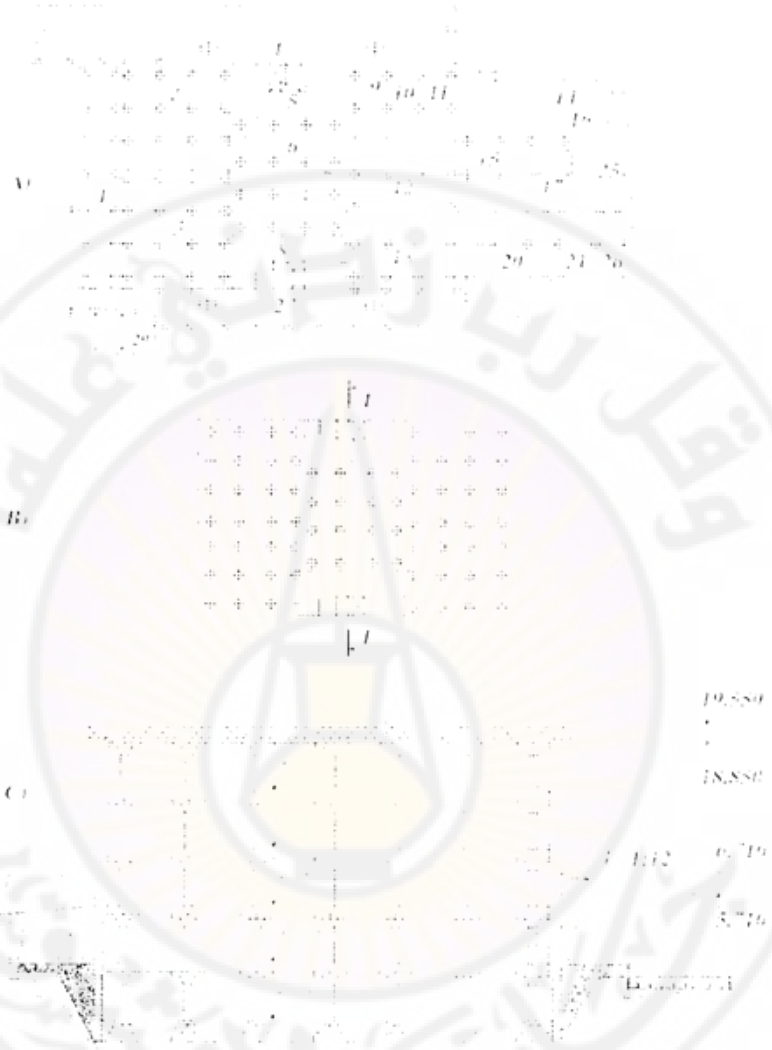
١١- غرفة لحفظ المنتجات المجمدة، ١٢- غرفة لحفظ المنتجات المبردة، ١٣- غرفة ذات نظام حراري عام، ١٤- مكان أقسام التعبئة، ١٥- الأمكنة المبردة لأقسام تعبئة اللحوم والزبدة، ١٦- غرفة مدخل، ١٧- مكان لقسم الالات، ١٨ - غرفة الكهرباء، ١٩- غرفة الصيانة واصلاح المعدات والأدوات، ٢٠- غرفة لغسل الأدوات.



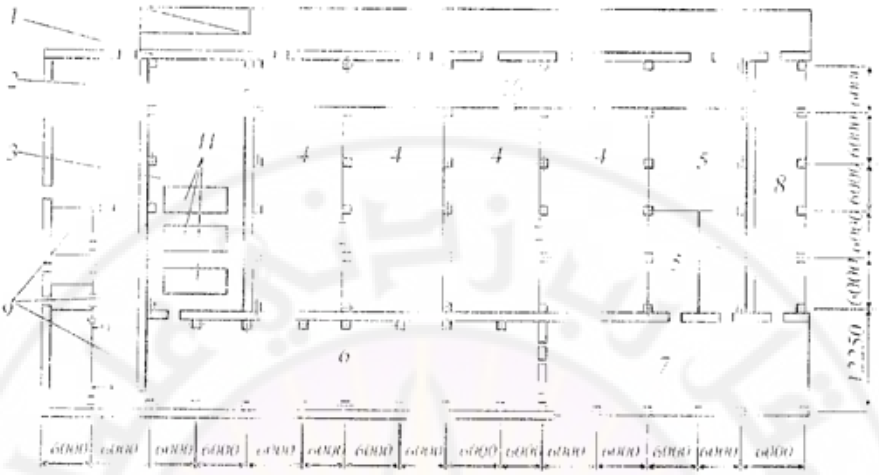
الشكل (3 - 2) : مخطط براد وحيد الطابق دون ممرات

١ - رصيف خط حديدي، ٢ - رصيف سيارات، ٣ - غرفة لحفظ المنتجات المبردة، ٤ - غرفة ذات نظام حراري عادي، ٥ - غرفة لحفظ المنتجات المجمدة، ٦ - الإرسال، ٧ - غرف معيشة وخدمة، ٨ - غرفة قسم الآلات، ٩ - غرفة الكهرباء لقسم الآلات.

الشكل (٤ - ٢) يبين مخططا لبراد توزيعي متعدد الطوابق مع توضع خارجي للمصاعد . تخطيط غرف التبريد الإنتاجية في مؤسسات اللحوم، الحليب وغيرها من الصناعات الغذائية يجب أن يتوافق مع مخطط العمليات التكنولوجية للتبريد والتجميد . الشكل (2-5) يبين مخططا لبراد إنتاجي وحيد الطابق مخصص لحفظ اللحوم والشكل (2-6) يبين مخططاً لبراد إنتاجي وحيد الطابق مخصص لحفظ المعلبات.





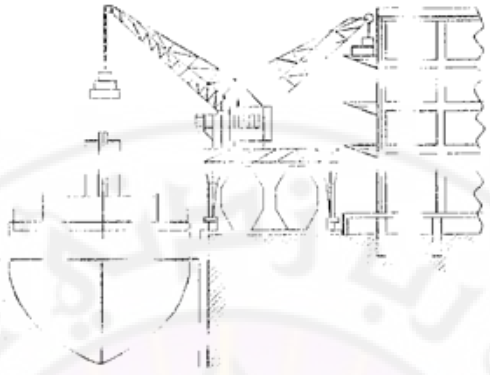


الشكل (٦-٢)

مخطط عام لمعمل معدني

١- رصيف خط حديدي، ٢- قسم الآلات، ٣- قسم للتجميع، ٤- غرفة لحفظ السلع المجمعة أو المبردة، ٥- غرف لحفظ المواد الأولية، ٦- قسم التحضير، ٧- غرفة التكويم، ٨- رصيف، ٩- غرف معيشة، ١٠- مدير، ١١- أجهزة رفع حديثة مزدوج.

في البرادات الموجودة في الموانئ أو في برادات السمك الإنتاجية غالبا ما تستخدم الروافع المرفأية لشحن وتفريغ السفن. في مثل هذه الحالات من المناسب رفع المواد مباشرة إلى الطوابق العليا، وذلك ببنى بلكون لكل طابق للاستقبال المواد أو فرشة بوساطة الروافع وعبر البلكونات يتم إدخال المواد إلى البهو الطابقي. لا بد من ملاحظة أن البلاكونات لا يمكن ان تبنى فوق بعضها البعض بل يجب أن يكون هناك انزياح بين البلكون والاخر كي لا يعيق البلكون تفريغ الحمولة على البلكون الأخفض منه. (الشكل ٦-٣).



الشكل (٢ – ٢)

مخطط ميكانيزم نقل السلع من الباخرة إلى بلكون براد الميناء.

٥ – ٢ – الشروط الواجب توافرها في أقسام الآلات والأجهزة:

يجب أن تبنى جدران وأرضية قسم الآلات من مواد مضادة للحريق وأن يكون توضع الأجهزة والآلات توضعاً مريحاً .

عند توضيع الآلات والأجهزة يراعى ما يلي :

يترك ممر بين الفتحة الكهربائية وقسم الآلات بعرض لا يقل عن 1.5 m ، ممر بين الجدران والآلة بعرض لا يقل عن 0.8 m إذا كان مريحاً للخدمة وفي حال عدم الحاجة للمرر يترك فراغ 0.5 m ، تترك مسافة بين الآلات بما لا يقل عن 1 m .

قسم الآلات في البرادات المتوسطة والكبيرة عادة يحتوي على غرفة للضواغط وغرفة للأجهزة كما يمكن أن تكون جميع التجهيزات في غرفة واحدة . غرفة الضواغط يجب أن تحتوي مخرجين وبكثير مسافة ممكنة بينهما وأن يكون جدهما مطلاً للخارج مباشرة . غرفة الأجهزة يجب أن تحتوي على مخرج الى غرفة الضواغط ومخرج إلى الخارج . إرتفاع غرفة الالات في البرادات الكبيرة والمتوسطة يجب الا يقل عن 4.2 m وأن تكون في الطابق الاول أو في أحد أطراف بناء البراد.

تحت قسم الآلات يمكن بناء قبو بارتفاع لا يقل عن 3 m لتوضع الأنابيب والأجهزة. يجب عدم ربط أساسات الضواغط بجدران البناية. يجب عزل الاهتزازات الناتجة عن الضواغط

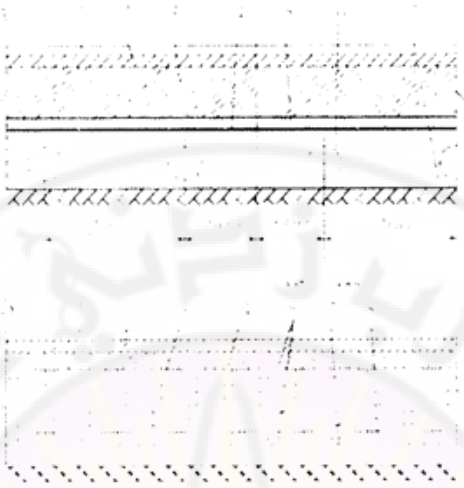
، المحركات الكهربائية. يسمح بتوضيع الأجهزة عند الحدران مباشرة دون بزاد ممرات إذا كانت المسافات بين الأعمدة (في حال وجودها) والأجزاء البارزة للآلات لا تقل عن 0.7 m.

قسم الآلات والأجهزة يجب أن يكون مجهزاً بنظام تهوية دفع وسحب بمعدل تبديل الهواء مرتين بالساعة لهواء الدفع وثلاث مرات بالساعة لهواء السحب إضافة إلى ذلك يجب أن يزود بنظام تهوية سحب الطوارئ بمعدل تبديل الهواء 7 مرات بالساعة.

٦-٢- تجمد التربة وسبل علاجها:

عند تخطيط البرادات يجب الانتباه إلى حماية التربة المحيطة بدنها من الانتفاخ والذي يتعلق بدرجة حرارة الهواء في غرف الطابق السفلي للبراد وبنوعية التربة ونسبة الماء فيها. يمكن تجنب تجمد وانتفاخ التربة كما يلي:

- بزيادة سماكة طبقة العزل حتى يمر خط درجة حرارة الصفر (0 °C) عبر طبقة العزل .
- بوضع أنابيب من البيتون أو الاسبستوس في التربة تحت الغرف ذات درجة الحرارة المنخفضة ، شكل (2-8,a) يتدفق في هذه الأنابيب هواء خارجي صيفا وهواء مسخن شتاءً .
- بتسخين التربة كهربائيا شكل (2-8,b) إذ توضع موصلات من الفولاذ بقطر $\phi = 10 \div 18$ mm وبخطوة لا تزيد عن 1 m في وسادة من البيتون تحت أرض الغرف . تغذى الموصلات بتيار من الكهرباء توتره 30 V ÷ 25 . الوسادة البيتونية توضع على عمق يساوي عمق الأسس .
- رفع أرضية الطابق الأول عن مستوى التربة وبهذا الشكل لا نحتاج لصرف قدرة كهربائية ونقل المصاريف الاستثمارية السنوية ولكن تزداد كلفة الأرضية.
- إبعاد إمكانية تسرب الماء إلى التربة. أفضل حل بالنسبة للبرادات المتعددة الطوابق هو بناء قبو يستخدم لحفظ المواد المبردة. إذا كانت درجة حرارة الهواء في الغرف (0 °C) أو أكبر فلا حاجة لتسخين التربة. إن بناء قبو بالنسبة للبرادات وحيدة الطابق يلغي إحدى ميزاتها وهي الارتفاع العالي للغرف وزيادة الحمولة لكل 1 m^2 من مساحة الأرضية، لذلك فإن بناء قبو تحت الغرف ذات درجة الحرارة المنخفضة غير مناسب.



Damascus University

مسائل محلولة:

مسألة (١):

حسب دورة السابع (الجدول ٣-٢) أوجد السعة اللازمة للبراد التوزيعي وغرف السلع المختلفة. حدد مساحة غرف حفظ السلع ومساحة بنادق التجميد والغرف الأخرى. أوجد أيضاً عدد الطوابق وكذلك العدد الضروري لآليات الرفع.

الحل:

١- السعة اللازمة للبراد تحدد حسب أكبر كمية من المنتجات التي يجب أن تحفظ بوقت واحد في غرف البراد. بما انه من المريح إجراء الحساب بالطن للحمولة الاصطلاحية، لذا العدد الأكبر الموافق يمكن أن نجده في العمود (٢٣) من الجدول (٣ - ٢) . الكمية الأكبر للمواد المحفوظة هي في شهر تشرين ثاني 5712 طن. هذه القيمة يجب أن تؤخذ كسعة عامة للبراد . أي أن T 5712 = E .

٢- السعة العامة للبراد تقسم إلى سعة غرف السلع المحفوظة عند درجات حرارة مختلفة. نميز بين مجموعتين من السلع. تنتمي الى المجموعة الأولى المنتجات المجمدة، التي تحفظ عند درجات حرارة سالبة (°C 25- : 18-) مثل هذه المنتجات كما هو موضح في الجدول هي اللحوم المجمدة، السمك المجمد والزبدة . محصلة كمية هذه السلع المحفوظة في وقت واحد في كل شهر مدرجة في العمود (٢٤) .

للمجموعة الثانية تنتمي المنتجات المبردة، التي تحفظ عند درجات حرارة موجبة أو عند درجة الصفر (°C 2.5 ÷ 4+) . إن مثل هذه السلع كما يوضح الجدول هي البيض والفواكه. محصلة كمية هذه السلع المحفوظة بوقت واحد مدرجة في الجدول لكل شهر .

أكبر كمية للمواد المجمدة المحفوظة نجدها في كانون الأول وتشكل 3965 طنا . أكبر كمية للسلع المبردة نجدها في تشرين الأول وتشكل 2278 طناً . إذا أوجدنا سعة الغرف حسب المواد المذكورة، فإن السعة العامة للبراد سوف لا تكون T 5712 = E بل ستكون :

(3965 + 2278 = 6243 T) . وهذا يسيء إلى استخدام حجم البراد .

الجدول (٣-٢): دورة المصانع لبراد توزيعي

البند	لحوم مجمدة			سمك مجمد			زبدة			بيض				فواكه				الإجمالي			
	الوارد	الصادر	الحفظ في الوقت الواحد	الوارد	الصادر	الحفظ في الوقت الواحد	الوارد	الصادر	استخدام في نفس الوقت الواحد	الحفظ في الوقت الواحد بالطن حمولة اضطلاحية	الوارد	الصادر	الحفظ في الوقت الواحد	الوارد	الصادر	الحفظ في الوقت الواحد	الحفظ في الوقت الواحد بالطن حمولة اضطلاحية	الوارد	الصادر	الحفظ في الوقت الواحد	الحفظ في الوقت الواحد حمولة اضطلاحية
	طن (D)			طن (D)			طن (D)			طن (D)				طن (D)				طن (D)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
I																						
II		400	2200	200	350	300	640	990	875	525	100	120	255	278		200	785	856	940	2060	4415	4159
III		400	1800	200	350	150	700	1100	175	285	200	280	175	191		200	585	638	1400	2330	3185	3064
IV																						
V		350	1050	1000	700	550	1400	850	1425	855	500	400	195	213		200	185	202	2900	2500	3405	3870
VI		350	700	1000	600	950	1760	1100	2085	1245	500	400	295	327		100	85	93	3260	2550	4115	3510
VII																						
VIII		200	200	300	400	750	1400	1160	2675	1610	400	300	495	540	400		685	746	2500	2060	4805	5846
IX		200		600	500	850	930	1130	2475	1485	300	170	625	681	500		1138	1291	3330	2000	5135	5307
X																						
XI	925		1710	200	400	850	580	885	1920	1152	30	185	550	600		100	1285	1400	1735	1570	6315	5712
XII	660		2370	100	300	650	465	810	1575	945		205	345	376		100	1185	1291	1225	1415	6125	5622

Damascus University

(1) عمل عدد عمال قطاع تلميع واحد (1,5).

الحل:

$$G = \frac{2795 \cdot 1.5}{22} = 190\,I \ \ day$$

2- تحديد الأعمال التي تتم زيادة قصرية:

$$G = G_{(II+III)} - G_{(II)}$$

يوجد في الشهر ثلاثة أيام تكون فيها التي تتم زيادة قصرية فيه عشرين، لكن ذلك يجمع الأيام في العادي 20 و21 لكل شهر، فيما الأعمال التحميع تجد في سير عادي.

$$G = G_{(I+II)} = 3015 - 2795 = 58.40\,I \ month$$

عشان:

$$G = \frac{3015}{30} \cdot 2 \cdot \frac{2795}{22} \cdot 1.5 = 213 \cdot 190 = 403\,I \ \ day$$

3- تحديد غرف التحمية تمكن تجنبه من عدد حرف من كمية تكلفة زيادة في غرف التي درجة حرارة منخفضة والتي تمكن (1-0 15 35%) تحن التحمية (+ زيادة تحمية)، تجد قيمة (1-0 20 %) كمية إضافية من التي تجمدة والتي تمكن قيمة 0 تمك درجة حرارة منخفضة تمكن كف يمكن أن تحن في زيادة التحمية.

زيادة الأعمال التجد يأخذ من نعمة (2)، يكون 925 ضد في سير عشرين ثاني، عشان تحمية غرف التحمية:

$$G = \frac{G}{30} \cdot m.d. \cdot co$$

$$\frac{925}{30} \cdot 2 \cdot 0.20 = 12\,I \ \ day$$

زيادة التبريق الأعمال الأسبوع 1000 ضد، هو في سير حرف، تحمية غرف تحمية الأسبوع تكون:

$$G = \frac{1000}{30} \cdot 2 \cdot 0.20 = 13\,I \ \ day$$

الكمية تعمة غرف التحمية:

$$G = 12 + 13 = 25\,I \ day$$

ونظرا لضرورة توضع المبردات الهوائية، نزيد مساحة غرف التجميد بمعدل 30 % وندور الرقم حتى $72\ m^2$ (من أجل مربعين 6×6) . لنعتبر أن الأسماك سوف تجمد في نفق تجميد سريع ذا سكورة لوحدة $G_h = 6\ h$. الأسماك تتوضع على رفوف عربات حمولة $30\ kg/m^2$ للرف . إذا كان عدد الرفوف (8) ، فإن الكتلة المنسوبة إلى $1\ m^2$ من مساحة الأرضية $q_F = 30 \cdot 8 = 240\ kg/m^2$.

عندئذ فإن المساحة اللازمة لتوضع الأحمال:

$$F_c = \frac{13 \cdot 1000 \cdot 6}{240 \cdot 24} = 14m$$

وإذا راعينا ضرورة توضع مبردات الهواء ، نزيد مساحة نفق التجميد بمقدار مرتين ($F_c = 14 \cdot 2 = 28\ m^2$) وندور الرقم حتى مساحة مربع واحد ($6m \times 6$) ، أي نعد $F_c = 36\ m^2$.

٩- المساحة العامة للغرف الإنتاجية الأساسية للبراد .

$$\Sigma F_b = 4700 + 2460 + 750 + 72 + 36 = 8018\ m^2$$

وبعد قيمة مساحة الأماكن الإنتاجية الثانوية فإن المساحة العامة للبراد تصبح :

$$F_R = \frac{\sum F_b}{\eta_R} = \frac{8018}{0.85} = 9450m$$

إذ: η_R – معامل استخدام المساحة العامة للبراد. تؤخذ للبرادات الكبيرة $\eta_R = 0.85 \div 0.90$.

١٠- نحسب طول رصيف الخط الحديدي علما أنه يتم بحمل 90 % من السلع بواسطة عربات الخطوط الحديدية، كما يتم إرسال 15 % من المواد الخارجة بوساطة هذه العربات. عندئذ:

$$G_R = 0.9\,G_h + 0.15\,G_h = 0.90 \cdot 217 + 0.15 \cdot 190 = 225\ T/day$$

إذا علمت أن حمولة الواحدة لعربة لوحدة هو $G_R = 20t$ فإن عدد العربات المقدمة في اليوم:

$$n = \frac{G_R}{g_R} = \frac{225}{20} = 12$$

طول رصيف الخط الحديدي:

$$L_R = \frac{n \cdot \ell \cdot m}{\Lambda}$$

نعد طول العربة الواحدة $\ell = 20\ m$، كما نأخذ $\Lambda = 4$ ونأخذ العامل $m = 1.25$ عندئذ:

$$L_R = \frac{12 \cdot 20 \cdot 1.25}{4} = 75m$$

هذه القيمة تدور حتى مضاعفات طول العربة، أي أن طول الرصيف يجب أن يكون $L_R = 80$ m.

كمية السلع التي تمرر عبر رصيف السيارات تحدد كالتالي:

$$G_1 = 0.1\,G_1 + 0.85\,G_2 = 0.1 \cdot 217 + 0.85 \cdot 190 = 183\ t/day$$

عدد السيارات التي تصل إلى البراد في اليوم الواحد:

$$n_1 = \frac{G_1}{g_B \eta_B} = \frac{183}{3 \cdot 0.6} = 102$$

طول رصيف السيارات:

$$l_B = \frac{n_B b_B \psi_1 \pi_1 m_B}{8}$$

$$l_B = \frac{102 \cdot 3.5 \cdot 0.85 \cdot 0.5 \cdot 1.5}{8} = 28m$$

إن هذه القيمة من مضاعفات عرض صندوق السيارة (3.5 m) .

١١- إن مقاييس الأرصفة تساعد على تحديد مساحة الطابق الأول .

عند التوضع الزاوي للأرصفة، فإن مقاييس ومساحة الطابق الأول يجب أن لا تقل عن $80 \times 28 = 2240\ m2$. وعند التوضع الجانبي للأرصفة يمكن أن نأخذ عرض أقل من 28 m (30 m) .

وبهذا الشكل فإن عدد الطوابق يكون :

$$Z = \frac{9450}{2240} \approx 4$$

١٢- عدد المصاعد يحدد حسب المجموع الأعظمي للسلع الواردة والصادرة .

$$n = \frac{(G_{max} - G_1')\,\pi_1\,\psi}{g\,\eta_{280}}$$

إذ: G_1' كمية السلع الواردة إلى الطابق الأول والخارجة منه. سوف نعد أنه يرد إلى الطابق الأول نصف الكمية التي تصل بشكل وسطي إلى كل من الطوابق الأعلى أي أن:

$$G_1' = \frac{G_{max}}{2.Z} = \frac{403}{2.4} = 50.5T/day$$

وبالتالي:

الفصل الثالث

التركيب الإنشائي والعازلية للبرادات

٣ ـ ١ التركيب الإنشائي للبرادات:

الجدران:

Damascus University

يجب ترك مسافة لتوضيع الطبقة العازلة الحرارية . لحماية الأرضية من تسرب الماء وبخار الماء او الرطوبة يوضع عزل هيدروليكي .

غطاءات البرادات:

تجهز البرادات قليلة العرض بأغطية وحيدة الحد وفي أغلب الأحيان تستخدم أغطية ذات حدين بميل قدره (1.5 ÷ 2 %). تغطى سطوح الأغطية بألفائف من المواد (الهيدروإيزول، الروبيرويد الزجاجي أو الروبيرويد) بشكل طبقات متوضعة على طبقة من الزفت.تدهن الطبقة العلوية بلون فاتح وذلك لتخفيف تأثير الأشعة الشمسية.

٢-٣- مهمة عزل البرادات:

طالما أن درجة الحرارة في الغرف المبردة t_i أخفض من درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط t_e فسوف يحصل فرق في درجات الحرارة t_e-t_i، هذا الفرق في درجات الحرارة يؤدي إلى تسرب حمل حراري عبر الجدران شدته $q(\frac{W}{m^2})$ حسب العلاقة :

$$q = K(t_e - t_i) = (t_e - t_i) \cdot R \qquad (3.1)$$

إذ: R- المقاومة الحرارية الكلية للجدار الخارجي (m^2K/W) .

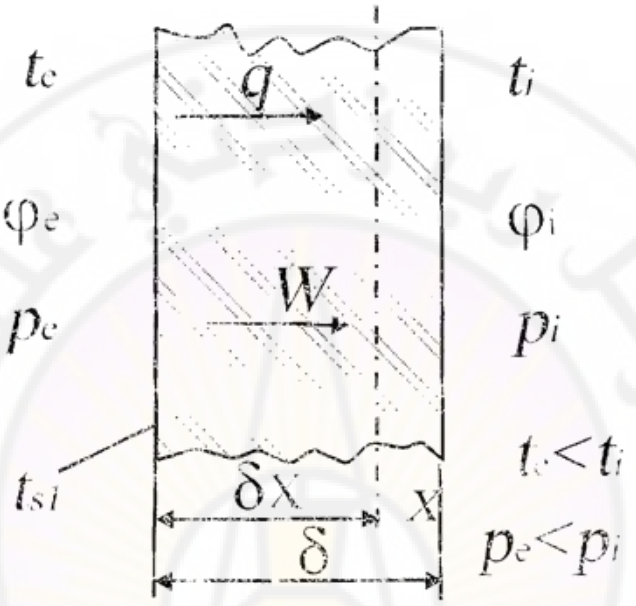
بما أن درجة حرارة الهواء الخارجي تكون عادة أكبر بكثير من درجة الحرارة الداخلية في الغرف المبردة فإن محتوى الرطوبة في الهواء الخارجي يكون أكبر منه في هواء الغرف المبردة، وبالنتيجة يظهر فرق في محتوى الرطوبة أو فرق بالضغط الجزئي لبخار الماء P_e-P_i بين جانبي الجدار . إن وجود هذا الفرق بالضغط يؤدي إلى تسرب تيار رطوبة عبر الجدار إلى الغرف المبردة، الشكل (٣-١) . شدة هذا التيار مقدرة بـ $(\frac{kg}{m^2s})$ تحدد بالعلاقة :

$$W = (P_e - P_i) / H_i \qquad (3.2)$$

إذ: H_i- مقاومة الجدار لتسرب البخار ، (m^2sPa/kg) .

من غير الممكن تجنب التيار الحراري وبخار الماء عند وجود فرق في درجات الحرارة والضغط لأن هذا يتطلب إيجاد جدران ذات مقاومة حرارية ومقاومة لتسرب البخار لا نهائيتين . ولكن زيادة المقاومتين المذكورتين في حدود معينة يمكن أن يقلل من تسرب

الحرارة وبخار الماء . هذه المهمة يمكن أن تتم بمساعدة العازل الذي يكسب الجدران او غيرها مقاومة لعبور الحرارة والرطوبة .



الشكل (٣ ١)

مخطط في جدار متجانس لغرفة مبردة

بما انه لتبخير الرطوبة من سطوح المنتجات المتواجدة في الغرفة المبردة يلزم حرارة ، لذا فإن التقليل من التسرب الحراري الى الغرفة يساعد على التقليل من جفاف المنتجات .

إن التجارب التي أجراها البروفسور ريوتوف في معهد البحث العلمي السوفيتي للصناعات التبريدية دلت على أن فقد كيلو جول واحد من الحرارة بتسرب إلى الغرفة بدرجة حرارة (+ 18 °C) إذ تحفظ المنتجات غير المغلفة يؤدي الى تبخر (أي جفاف) (0.036) غرام من الرطوبة تقريبا من سطوح المنتجات (وعند درجة حرارة 10 °C حوالي 0.062 غ لكل كيلو جول) .

بهذا الشكل فإن العزل يقلل من التسرب الحراري ويساعد بالمحافظة على النوعية العالية للمنتجات لمدة اطول .

بن وجود العزل الحراري يسمح بتقارب درجة حرارة السطوح الداخلية للجدران من درجة الحرارة داخل الغرف وبالتالي يقل بشكل ملحوظ فرق درجات الحرارة $t_{s2}-t_i$ الشكل (٢-٣).

إن شدة التيار الحراري الذي يعبر الجدار في حالة الاستقرار يمكن أن يحسب أيضاً بالعلاقة:

$$q = \alpha_e \cdot (t_{s2} - t_i) = (t_e - t_i) / R \qquad (3.3)$$

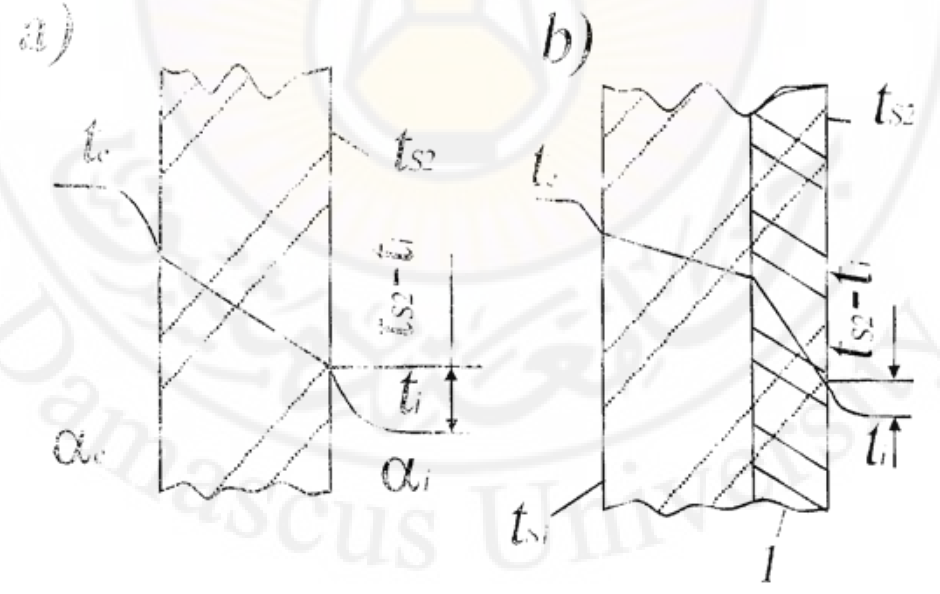
إذ: α_i – معامل الانتقال الحراري من السطح الداخلي للجدار إلى هواء الغرفة .

R_i – مقاومة الجدار الحرارية من السطح الداخلي .

عندئذ

$$(t_e - t_i) \cdot R_e = (t_{s2} - t_i) \cdot R_i \qquad (3.4)$$
$$(t_{s2} - t_i) = R_i \cdot (t_e - t_i) / R_e$$

كما نرى من العلاقة (3.4) عند قيم محددة لدرجة الحرارة الداخلية والخارجية وعند ثبات المقاومة الحرارية للانتقال الحراري R_i فإن فروق درجات الحرارة $t_{s2}-t_i$ يتناسب عكساً مع المقاومة الحرارية الكلية للجدران. لذلك عند عزل الجدار بطبقة من العازل الحراري (شكل (b ٢-٣) فإن فرق درجات الحرارة عند سطح الجدار يصبح أقل بكثير من السطح دون عازل . الشكل (a-٢ ٣) .



(شكل (٢-٣

انخفاض فرق درجات الحرارة عند سطح الجدار المعزول بالمقارنة مع الجدار غير المعزول

الفرق الكبير لدرجات الحرارة بين السطح الداخلي وهواء الغرفة ينشط حركة الهواء عند الجدار ويزيد من جفاف المنتجات المحفوظة بالقرب من الجدار ، وأيضاً يمكن أن يؤدي إلى تكثيف الماء للمنتجات مثبتة أو في بعض الحالات تكون [illegible].

تجميد المنتجات يمكن أن يحدث أيضاً عند العزل غير الكافي للجدران الداخلية التي تفصل الغرف ذات درجات الحرارة المنخفضة عن الغرف التي تنقل فيها مقدارات مبردة عند درجات حرارة أعلى.

الفرق الكبير لدرجات الحرارة عند سطح الجدار يمكن أن يسبب تكاثف بخار الماء من الجهة الدافئة وذلك طالما أن درجة حرارة السطح يمكن أن تنخفض إلى أقل من درجة حرارة الندى للهواء المحيط.

٣-٣- مواد عزل البرادات:

إن الغاية الأساسية من عزل البرادات التخفيف من تسرب الحمل الحراري إلى غرف البراد أو بين بعضها البعض، إن المواد العازلة غالية الثمن وتشكل (40 % ÷ 25) من تكاليف بناء البراد، وبالتالي فعند تخطيط البراد يجب دراسة كل حالة لإيجاد السماكة المثلى للعزل التي تفي بالمتطلبات الاقتصادية.

يجب أن تلبي مواد العزل المتطلبات التالية :

معامل توصيل حراري صغير بحدود $\lambda = 0.035 \div 0.175 \ \frac{W}{m^{\circ}C}$ ، كتلة حجمية صغيرة $15 \div 600 \ \frac{kg}{m^3}$ ، ضعف خصائص الرطوبة ، المتانة ، مقاومة الحمل ، المقاومة للحريق وعدم وجود روائح .

إضافة إلى ما سبق فيجب أن لا تؤدي مواد العزل إلى صدأ سطوح المعادن المعزولة وأن لا تكون ضارة للصحة والإنسان أثناء التركيب أو الاستثمار وأن تكون رخيصة الثمن ومريحة للنقل والتركيب والإصلاح وأن تتمتع بمدة خدمة طويلة . إن مواد العزل المتوافرة لا يمكن أن تلبي المتطلبات الآنفة الذكر بآن واحد ولذلك يتم اختيار المواد التي تتوافر فيها المواصفات الضرورية .

إن أقل معامل توصيل حراري هو للهواء الجاف الساكن $\lambda = 0.023\ w/m^{o}C$.
عملياً الهواء يوجد بحركة مستمرة ناتجة عن الفرق في الكثافة بين الهواء البارد والهواء الساخن .
إن تقليل مقاييس (حجوم) الفراغات الهوائية يؤدي إلى التقليل من حركة الهواء وبالتالي يقترب من الحالة الساكنة .

تصنيف مواد العزل الحراري للبرادات

تصنف المواد العازلة كالتالي:

١ – حسب خواصها:

- مواد مرتفعة الفعالية معامل توصيلها الحراري يصل حتى $0.047\ w/m^{o}C$
- مواد فعالة ذات معامل توصيل حراري $0.047 \div 0.0815\ w/m^{o}C$
- مواد متوسطة الفعالية ذات معامل توصيل حراري $0.0815 \div 0.175\ w/m^{o}C$
- مواد منخفضة الفعالية ذات معامل توصيل حراري $0.175 \div 0.35\ w/m^{o}C$

مثل مواد البناء والتي تستخدم فقط في حال عدم الضرورة الكبيرة للعزل .

٢ – حسب المنشأ :

- عضوية المنشأ (الفلين، إيكسبانزيت، البلاستيك الرغوي وغيرها) .
- لاعضوية المنشأ (القطن المعدني، الألياف الزجاجية وغيرها) .

٣ – حسب التركيب وطريقة التثبيت على الجدران المعزولة :

- بشكل ألواح (بلاستيك رغوي، زجاج رغوي، بيتون رغوي، ألواح فلين، ألواح إيكسبانزيت وغيرها) .
- بشكل ألياف (قطن معدني في ألواح نصف صلبة أو صلبة، ألياف زجاجية في ألواح وغيرها) .
- مواد بطبقات هوائية عاكسة للحرارة (رقائق الألمنيوم)، مواد سريعة الانهيار (فتات الفلين).
- مواد رغوية بطريقة الصب أو التغبير (بولييرثين، بلاستيك رغوي) .

المواد اللوحية والشيتية :

تلصق المواد اللوحية على السطح المراد عزله. تلصق الألواح ببعضها بلاصق لا يؤثر بالصحة وغير قابل للاحتراق . يتم اختيار نوع اللاصق بحسب نوع المادة العازلة . إذا كان العازل مؤلفاً من عدة طبقات تلصق كل طبقة على الأخرى على أن تغطي كل طبقة نهاية الطبقة السابقة بمقدار 100 mm . تستخدم أنواع من الألياف الزجاجية . القطن الصخري وغيرها .

للتقليل من التبدد تغلف هذه المواد بأغلفة من الرقائق الالصقة (التركيبية) .

المواد ذات الطبقات الهوائية العاكسة للحرارة :

هذا النوع من العزل يتألف من سطوح طبقات متعددة (تعكس 93 ÷ 95 % من إشعاع الطاقة الحرارية) هذه الأسطح تكون محصورة بين صفيحتين صلبتين . ضعف الناقلية الحرارية في هذه الحالة يتم على حساب مقاومة التبادل الحراري الكبيرة الطبقات الرقيقة (سماكة 5 mm) للهواء غير المتحرك المحصور بين رقائق ورقية مفضضة . هذا النوع من العزل يستخدم في بيوت التبريد الحالي والشتوي .

المواد سريعة التجمد :

من هذه المواد يستخدم في الوقت الحاضر فتات الفلين الذي يوضع على السطح المعزول. يرش على معجون لاصق بضغة أو أكثر أو يخلط فتات بالمعجون ويحضر مسبقاً ثم يوضع على السطح المعزول بشكل طبقة. سماكة الفلين (5 ÷ 10 mm) .

المواد المغيرة أو المصبوبة :

هذه المواد مثل البلاستيك (البيوبلاست) الرغوي . يجهز الخليط مباشرة في مكان الاستعمال ومن ثم يوضع على السطوح المعزولة بالتغبير أو يصب في التجاويف المعزولة .

يزداد حجم السائل المصبوب او المغبر عند تشكل الرغوة ثلاثين ضعفا ويشكل مادة رغوية متماسكة بدون خطوط التحام . بما أن هذا النوع من العزل لا يحوي على وصلات اتصال ويتشكل على سطوحها طبقة كتيمة هيدروليكياً فإن البلاستيك الرغوي يعد عملياً غير

جدول (١ - ٣)

المادة العازلة	الكتلة الحجمية kg/m^3	معامل الناقلية الحرارية λ. w/m^0C	الوظيفة
١) المواد العازلة الحرارية			
- ألواح عوازل حرارية من البلاستيك الرغوي أو البيتومين.	25÷40	0.047	من أجل العوازل الحرارية للجدران الخارجية والداخلية والأعمدة والعطبة للسقوف (الأسطح) والأنابيب والأجهزة والفواصل الجدارية.
- بلاستيك رغوي، بولي اوريتان قاس	100	0.041	السقوف والأنابيب والأجهزة والفواصل.
- بولي فينكلورين	20÷100	0.047	-
- ألواح قاسية من الليف المعدني أو القطني الطبيعي المضغوط وعليه زيت الزفت.	250÷300	0.08 ÷ 0.09	من أجل العوازل الحرارية للأنابيب والأجهزة وما بين الطوابق.
- ألواح من الفيبرونيت وأنواع عوازل حرارية من الاسبتون الناعم.	300÷400	0.15 ÷ 0.19	للجدران الخارجية والداخلية والفواصل والأعمدة وجدران الممرات.
- ألواح من البيرليت البليومي	200÷250	0.076 ÷ 0.087	من أجل الأغطية والحواجز والأعمدة والقطع المضادة للحريق.

تابع جدول (٢ – ٣)

المادة العازلة	الكتلة الحجمية kg/m^3	معامل الناقلية الحرارية λ، w/m^0C	الوظيفة
شرائح كيراميت (من البيتون)	200÷500	0.17 ÷ 0.23	من أجل المواد غير القابلة للاحتراق وأغطية البيادرات وتجهيزات أرضية الغرف
لينوليوم	500	0.2	من أجل تجهيزات أرضية الغرف
ستيروبور	---	0.04	من أجل الجدران الخارجية وفواصل الحرارية و الأسطح (السقوف) والأرض أحياناً.
الفلين المعدني	200÷250		
الفلين الطبيعي	160÷300		
زجاج رغوي	250÷300		
٢) المواد العازلة الهيدروليكية (ضد الرطوبة)			
إسفلت	÷2000 1800	0.75 ÷ 0.87	
زيت زفت بترولي	1050	0.18	
روبيرويد	600÷800	---	
بيرغاسين	600÷800	---	

٤ – ٣ – المواد العازلة الهيدروليكية (ضد الرطوبة):

الرطوبة في مبنى البراد يمكن أن تتشكل بعدة طرق :

١- من الأرض حتى أعلى نقطة في السقف.

٢- من أخمص القدم إلى مستوى العين.

٣- طول الجسم من الأخمص إلى الرأس.

٤- عمق بحر الماء من الأعلى.

تتم حركة من الشخص، وإذا ما حدث تغير في هذه الحركة، فإن هذا يؤدي إلى ظهور قوة أخرى تعاكس القوة الأولى، وتسمى هذه القوة بقوة رد الفعل. وتعمل هذه القوة على دفع الشخص إلى الأمام. وتتناسب قوة رد الفعل مع كتلة الماء المزاحة من قبل الجسم. وتعتمد كتلة الماء المزاحة على مساحة المقطع العرضي للجسم وسرعة حركته. وكلما زادت المساحة أو السرعة، زادت قوة رد الفعل. وتعتمد قوة رد الفعل أيضاً على كثافة الماء. وتزداد كثافة الماء مع زيادة الملوحة ومع انخفاض درجة الحرارة. وتبلغ كثافة الماء العذب عند درجة حرارة ٤ درجات مئوية حوالي ١٠٠٠ كغ/م٣، بينما تبلغ كثافة الماء المالح حوالي ١٠٢٥ كغ/م٣.

تعتمد مقاومة الماء على عدة عوامل، منها: شكل الجسم، ومساحة مقطعه العرضي، وسرعة حركته، وكثافة الماء، ولزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع زيادة أي من هذه العوامل. وتتناسب مقاومة الماء طردياً مع مربع سرعة الجسم. فإذا تضاعفت سرعة الجسم، فإن مقاومة الماء تزداد أربع مرات. وتتناسب مقاومة الماء أيضاً مع مساحة المقطع العرضي للجسم. فإذا تضاعفت مساحة المقطع العرضي، فإن مقاومة الماء تتضاعف أيضاً. وتعتمد مقاومة الماء على شكل الجسم. فالأجسام المنسابة الشكل تواجه مقاومة أقل من الأجسام غير المنسابة الشكل. وتعتمد مقاومة الماء على لزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع زيادة لزوجة الماء. وتتأثر لزوجة الماء بدرجة الحرارة. فكلما انخفضت درجة الحرارة، زادت لزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع انخفاض درجة الحرارة.

تعتمد مقاومة الماء على عدة عوامل، منها: شكل الجسم، ومساحة مقطعه العرضي، وسرعة حركته، وكثافة الماء، ولزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع زيادة أي من هذه العوامل. وتتناسب مقاومة الماء طردياً مع مربع سرعة الجسم. فإذا تضاعفت سرعة الجسم، فإن مقاومة الماء تزداد أربع مرات. وتتناسب مقاومة الماء أيضاً مع مساحة المقطع العرضي للجسم. فإذا تضاعفت مساحة المقطع العرضي، فإن مقاومة الماء تتضاعف أيضاً. وتعتمد مقاومة الماء على شكل الجسم. فالأجسام المنسابة الشكل تواجه مقاومة أقل من الأجسام غير المنسابة الشكل. وتعتمد مقاومة الماء على لزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع زيادة لزوجة الماء. وتتأثر لزوجة الماء بدرجة الحرارة. فكلما انخفضت درجة الحرارة، زادت لزوجة الماء. وتزداد مقاومة الماء مع انخفاض درجة الحرارة.

بسماكة 1 mm مطلية بالزفت . الإيزول المعدني يحضر بتغطية رقائق الألمنيوم من الجهتين بخليط من الزفت والياف الأسبستوس، سماكة الرقائق 0.5 ÷ 1 mm وطولها 5 m . الهيدروإيزول والإيزول المعدني من المواد المقاومة للحريق . يمكن الحصول على الإيزول بدلفنة عجينة ساخنة محضرة من مزيج مخلفات المطاط، الزفت والأسبستوس ويستخدم بشكل لفائف .

إذا تسربت الرطوبة إلى المواد العازلة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة التدفق الحراري وهذا يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة في غرف البراد لذلك فإن تجفيف المواد العازلة للرطوبة له أهمية خاصة، من أجل ذلك تشكل على ألواح الطبقة الأخيرة من جهة الغرفة أخاديد (قنوات) لدوران الهواء .

الهواء يتحرك بسبب الفرق في الوزن بين الهواء البارد والساخن (بشكل تثاقلي) أو بوساطة مروحة . وعند مروره بالقنوات يأخذ معه القطرات من المادة العازلة وبعدها يدخل إلى مجفف وهو عبارة عن مبرد ذي أنابيب مريشة حيث عند تبريد الهواء تتكاثف القطرات الموجودة بالهواء على سطوح الأنابيب والهواء المجفف يدخل من جديد إلى القنوات . تكاثف القطرات في المبرد يشكل قروة ثلجية يجب إزالتها يومياً باستعمال التسخين الكهربائي. إن هذا الأسلوب من التجفيف أدى إلى نتائج جيدة وذلك بشرط حماية العازل الحراري من كلتا الجهتين بطبقة من العازل الهيدروليكي .

٥-٣- التركيب الإنشائي للعازل في البرادات:

من المهم جداً أن يكون التركيب الإنشائي للعزل جيداً. هناك أمثلة على حالات سيئة لعزل ما رغم أنه مركب من مواد جيدة . ونظراً لذلك فإن المتطلبات التي يجب أن يحققها التركيب الإنشائي الجيد للعزل :

١- أن يكون التركيب الإنشائي للعازل اقتصادياً . وهذا لا يعني أن يكون رخيص الثمن مع أن ذلك ذو أهمية كبيرة نظراً للكلفة المرتفعة للعازل نسبة لكلفة بناء البراد. يدخل إلى المكان المبرد عبر الجدران الخارجية ما لا يقل عن نصف الحمل الحراري الكلي . يمكن التقليل من تسرب الأحمال الحرارية عبر الجدران بزيادة سماكة طبقة المادة العازلة إلا أنه ليس من المعقول زيادته دون حدود. عند قيمة ما لسماكة الجدران (الفواصل) أو عند

قيمة ما لتصبح التوصيل يمكن يجد قيمة معامل الانتقال الحراري الأمثل لتحقيق القيمة الأقصوية للمصاريف .

إذا رمزنا بـ ∠ لمجموع المصاريف الكلية السنوية منسوبة إلى $1\ m^2$ من الفواصل المعزولة فإن:

$$\angle = S + E_n.K \qquad (3.5)$$

إذ: S- كلفة الاستثمار السنوية .

K- كلفة التركيب الإنشائي للعازل .

E_n- العامل الحراري لفعالية الكلفة للتسخين .

الكلفة الاستثمارية المتعلقة بالتركيب الإنشائي للعازل :

$$S = A + E + U$$

إذ: A- معدل استهلاك العزل .

E- مصاريف الطاقة الكهربائية لتغطية الأحمال الحرارية عبر $1\ m^2$ من العزل في السنة .

U- كلفة (أو) تضحيات ناتجة بسبب الضرر الناتج عن تسرب الأحمال الحرارية عبر $1\ m^2$ من العازل في السنة .

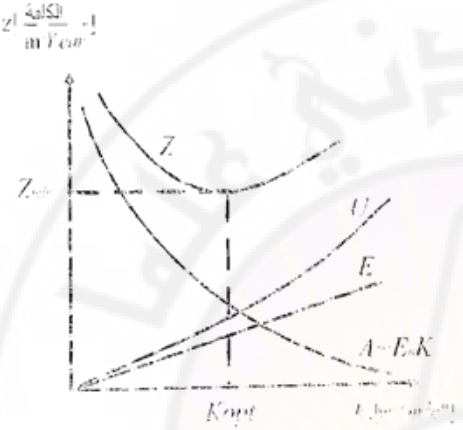
جميع عناصر العلاقة 3.5 تتبع لسماكة طبقة العزل δ_{ins} أو لمعامل الانتقال الحراري k وبالتالي فإن جميع العناصر المتعلقة بالكلفة (المصاريف) التأسيسية $(A + E_n.K)$ تزداد بازدياد δ_{ins} (أو بنقصان k) أما مصاريف الطاقة الكهربائية والمصاريف الناتجة عن تلف المنتجات بسبب الجفاف فلها تأثير عكسي .

سماكة العزل المثالي التي توافق مصاريف كلية صغرية يمكن إيجادها باشتقاق ∠ بالنسبة للسماكة δ_{ins} ومساواة المشتق بالصفر أي: $\frac{d\angle}{d\delta_{ins}} = 0$ وبالتالي نجد السماكة المثلى $(\delta_{ins.op})$ أو k_{op} .

تحديد K_{op} يمكن أن يتم بيانيا كما في الشكل (٣ – ٣) .

إن قيم معامل الانتقال الحراري لكل من الجدران الخارجية للبرادات مدرجة في الجدول(٢-٣) إن هذه القيم تتعلق بدرجة حرارة الهواء داخل الغرفة المبردة وبدرجة الحرارة المتوسطة السنوية للهواء الخارجي في المنطقة التي يقع فيها البرد .

معامل الانتقال الحراري لأغطية البرادات في الغرف المبردة وذات درجات الحرارة السالبة يؤخذ أقل منه للجدران الخارجية بمعدل 10 % ÷ 7، للغرف ذات درجات الحرارة الموجبة يؤخذ أقل بمعدل 25 % ÷ 15، وذلك مع مراعاة الازدياد الملحوظ للحمل الحراري بسبب تأثير الأشعة الشمسية .



شكل (٣ – ٣)

جدول ٢-٣:قيم معامل الانتقال الحراري للجدران الخارجية

درجة الحرارة الوسطى السنوية للهواء الخارجي في منطقة البناء oC	معامل الانتقال الحراري W/m^2C عند درجة الحرارة الداخلية للغرفة المبردة					
	-15	-21	-10	-4	+4	12
0.7	0.21	0.285	0.325	0.465	0.580	
0.640	0.2	0.265	0.28	0.350	0.510	
0.525	0.185	0.21	0.235	0.280	0.350	

ان قيم معامل الانتقال الحراري لأرضية غرف التبريد الملائمة للتربة مبينة على الجدول (٣-٣) .

جدول (٣ – ٣) :معامل الانتقال الحراري لأرضية غرف التبريد

درجة حرارة هواء الغرفة	معامل الانتقال الحراري W/m^2C
+4 ÷ +4	0.465
-10	0.29
-20 ÷ -30	0.21

٢. ان التركيب الإنشائي لعزل الجدران يجب ان يؤمن الفرق الضروري بين درجة حرارة السطح ودرجة حرارة الهواء المحيط هذا الفرق في درجة الحرارة يحدد إما حسب متطلبات تكنولوجية أو حسب ضرورة الحيلولة دون حدوث التكاثف على سطوح الجدران.

لحالة استقرار التيار الحراري المتدفق ويمعرفة فرق درجات الحرارة في الغرفة المبردة $t_{s2} - t_i$ شكل (٢ – ٢) فان معامل الانتقال الحراري للجدار حسب العلاقتين (3.1) و(3.3) يساوي :

$$k = \alpha_i (t_{s_2} - t_i) / (t_e - t_i) \qquad (3.6)$$

في الحقيقة ان التيار الحراري المتدفق غير مستقر بسبب تغير درجة الحرارة الخارجية t_e وهذا يؤدي بدوره إلى تغير درجات حرارة السطوح t_{s_2} و t_{s_1} . نظرا لعدم استقرار النظام

يدخل عامل $\frac{1}{m}$ إلى العلاقة (3-6) ، هو يصف كثافة الجدار . في هذه الحالة علاقة معامل الانتقال الحراري تأخذ الشكل النهائي التالي:

$$k = \alpha_1 (t_{s_1} - t_i) / [(t_i - t_i) m] \qquad (3.6a)$$

الجدران الضخمة الكثيفة $m = 1.0$ والجدران المتوسطة الكثافة $m = 1.10$ والجدران الخفيفة $m = 1.15$ ، لكي نتجنب تكاثف البخار من الهواء على سطح الجدار الذي يفصل بين غرفتين بدرجتي حرارة قيمتاً مختلفتين (لتكن $t_1 > t_2$) يجب أن تكون درجة الحرارة سطح الجدار t_{s1} اكبر من درجة حرارة نقطة الندى لهواء الغرفة الأولى t_{d1} عند رطوبة نسبية φ_1 أي :

$$t_{s_1} > t_{d_1} \qquad (3.7)$$

عند ذلك فإن :

$$k = a_1 (t_1 - t_{s1}) / [(t_1 - t_2) m]$$

$$k < a_1 (t_1 - t_{d1}) / (t_1 - t_2) m$$

اذا اخذنا عاملاً احتياطيا لضمان تحقيق المتراجحة (3.7) فإن عامل الانتقال الحراري الجدار :

$$k = 0.95 a_1 (t_1 - t_{d1}) / (t_1 - t_2) m \qquad (3.8)$$

لتجنب تكاثف البخار على السطح من جهة المكان الدافئ يجب تحديد معامل الانتقال الحراري للفواصل الداخلية والسقوف بين الطوابق. القيم المعيارية لمعامل انتقال الحرارة للفواصل الداخلية موضحة في الجدول (٤ – ٣) .

جدول (٤ – ٣) : معامل الانتقال الحراري للفواصل الداخلية

درجة حرارة الغرفة الأولى	معامل الانتقال الحراري $W/m^2 C$ عند درجة حرارة الهواء في الغرف الأخرى					
	-30	-20	-10	-4	4	12
-30	0.580	---	---	---	---	---
-20	0.500	0.580	---	---	---	---
-10	0.370	0.405	0.58	---	---	---
4	0.280	0.325	0.405	0.580	---	---
12	0.210	0.220	0.255	0.405	0.525	0.755
18	0.200	0.210	0.230	0.350	0.465	0.700

عند حساب معامل الانتقال الحراري الكلي يؤخذ معامل انتقال الحرارة α_i بمقدار $6 \div 7\ W/m^2\ ^\circ C$. حسب قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي المحسوبة أو المعتمدة يمكن تحديد سماكة طبقة العزل. إذا كان الجدار مؤلفاً من عدة طبقات فإن:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{ins}}{\lambda_{ins}} + \frac{1}{\alpha_i}} \qquad (3.9)$$

$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ - مجموع لمقاومات الحرارية لطبقات الجدار ما عدا الطبقة العازلة . إذ:

δ_{ins} - سماكة الطبقة العازلة .

λ_{ins} - معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة .

من العلاقة (3.9) نجد الصيغة التي تحدد سماكة طبقة العزل δ_{ins} بالمتر .

$$\delta_{ins} = \lambda_{ins} \left[\frac{1}{k} - \left(\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right] . m \qquad (3.10)$$

عندما تكون المادة العازلة مصنعة بشكل ألواح فإن السماكة الفعلية للطبقة العازلة تكون من مضاعفات سماكة اللوح، أي ان القيمة المحسوبة للسماكة تدور لتأخذ رقما صحيحا .

يجب أن ينجز العزل من طبقتين على اقل تقدير وذلك بهدف تغطية النهايات المتجاورة لألواح الطبقة الأولى بألواح الطبقة الثانية.

إن عزل الأجهزة والأنابيب ايضا يجب أن يحقق شروط تجنب حدوث التكاثف على السطوح الخارجية. لتلافي تشكل الندى على سطوح الأنابيب شكل (٤ - ٣) يجب تحقيق المتراجحة (3.7) . إذا أهملنا المقاومة الحرارية للحمل الحراري من السطح الداخلي للأنبوب والمقاومة الحرارية لجدار الأنبوب يمكننا كتابة علاقة التيار الحراري المتدفق عبر الأنبوب المعزول لواحدة الطول :

$$q' = \pi (t_i - t_a) \left(\frac{1}{\alpha_i D_{ins}} + \frac{1}{2\lambda_{ins}} \ln \frac{D_{ins}}{d_e} \right) = \qquad (3.11)$$

$$= \pi (t_i - t_i') \frac{1}{\alpha_i D_{ins}}$$

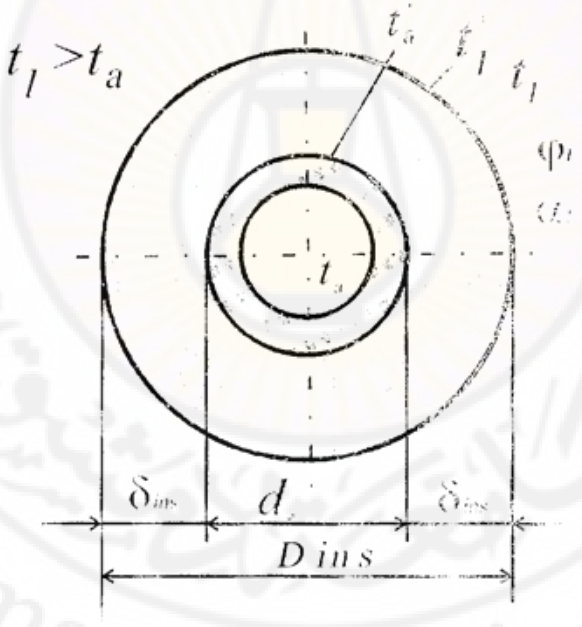
إن المساواة (3.11) يمكن أن تكتب بالشكل :

$$\frac{t_c - t_a}{t_1 - t_a} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_1 D_{ins}}{2\lambda_{ins}} \ln \frac{D_{ins}}{d_c}}$$

ولتحقيق الشرط الجبهة (3.11) يكون :

$$\frac{t_1 - t_{d1}}{t_1 - t_a} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_1 D_{ins}}{2\lambda_{ins}} \ln \frac{D_{ins}}{d_c}}$$

$$0.95 \frac{(t_1 - t_a)}{(t_1 - t_a)} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_1 D_{ins}}{2\lambda} \ln \frac{D_{ins}}{d}} \qquad (3.12)$$



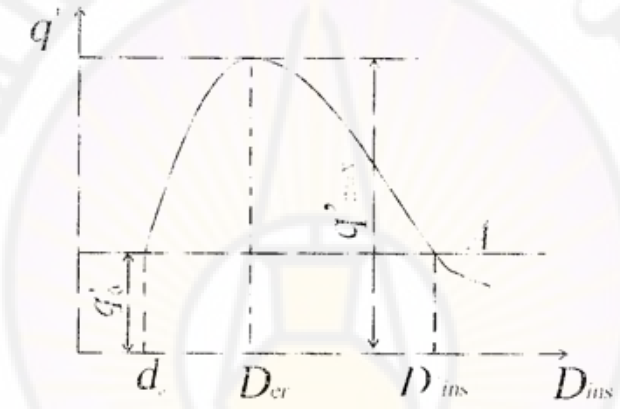
الشكل (٤-٣)

سماكة العزل المطلوبة $\delta_{ins} = (D_{ins} - d_c)/2$ ويمكن إيجادها من العلاقة (3.12) والتي يمكن أن تحل بطريقة التقريب المتتالي، بإعطاء قيم مختلفة لـ D_{ins} أو بالحساب على الحاسوب .

كما هو معلوم فإن النسبة $\frac{2\lambda_{ins}}{\alpha_1}$ هي عبارة عن نصف قطر حرج للعزل D_{cr} الذي يناسب أصغر مقاومة حرارية وعنده التيار الحراري عبر العزل يصل إلى القيمة الاعظمية q_{max} شكل (٣-٥).

وفقا لما سبق فإن العلاقة (3.12) تأخذ الشكل :

$$0.95\frac{t_1 - t_{ai}}{t_1 - t_a} = \frac{1}{\alpha_1 D_{cr}} + \frac{1}{2\lambda_{ins}} \ln\frac{D_{ins}}{d_e} \qquad (3.12a)$$



شكل (٣-٥)

عند حل المعادلة (3.12a) من الضروري اختيار قيمة $D_{ins} > D_{cr}$ ، بالنسبة للعزل الأنابيب تستخدم مواد عزل ذات معامل توصيل حراري صغير لتقليل قيمة D_{cr} إن تقليل قيمة D_{cr} مهم خصوصا للأنابيب ذات الأقطار أقل من 50 mm ، لكي يستوفى عازل الأنابيب إلى التخفيف من تدفق التيار الحراري عبر سطح الأنبوب يجب أن يكون $D_{ins} - D_{ins}$ شكل (٣-٥) عند ذلك يكون التدفق الحراري q عبر سطح الأنبوب أقل من التدفق الحراري q_o عبر سطح الأنبوب غير المعزول .

في النقطة A تتحقق المساواة $q = q_o$ أو :

$$\frac{1}{\alpha_1 D_{cr}} + \frac{1}{2\lambda_{ins}} \ln\frac{D_{ins}}{d} = \frac{1}{\alpha_1 d_e}$$

ومنه فإن :

$$\frac{1}{\alpha_1 D_{ins}} + \frac{1}{2\lambda_{ins}} \ln \frac{D_{ins}}{d_c} = \frac{1}{\alpha_1 d_c}$$

يمكن التعبير عن هذه العلاقة بالشكل :

$$1 + \frac{D_{ins}}{D_c} \ln \frac{D_{ins}}{d_c} = \frac{D_{ins}}{d_c} \qquad (3.13)$$

إن حل هذه العلاقة يعطي سماكة طبقة العزل والتي عندها يكون التدفق الحراري عبر العزل مساوياً التدفق الحراري عبر الأنبوب العاري. من الجدير بالذكر أن التدفق الحراري المقارن مع الأنبوب العاري يمكن فقط في حال تحقيق المتراجحة:

$$1 + \frac{D_{ins}}{D_c} \ln \frac{D_{ins}}{d_c} > \frac{D_{ins}}{d_c} \qquad (3.13a)$$

العزل الحراري والبخاري (الهيدروليكي) يجب أن يكون بشكل طبقات مستمرة (غير منقطعة) على كامل سطوح المنشأة التبريدية. هذا الشرط يمكن تحقيقه بسهولة عندما يكون البراد مؤلفاً من مكان واحد وذلك بوضع العزل على الجدران الداخلية. لتأمين استمرارية طبقات العزل عندما تكون الأمكنة المبردة كثيرة وفي المنشآت المتعددة الطوابق يتطلب الأمر تصميماً انشائياً خاصاً. في حال التصاميم الإنشائية العادية للمباني الصناعية متعددة الطوابق من الصعب تحقيق طبقة عزل بقطعة واحدة (غير منقطعة)، الانقطاع سوف يحدث عند الأرضية بين الطوابق شكل (3-6,a) وعلى الجدران الداخلية. بهذه الحالة يتشكل في السطح المعزول مكان تكون فيه المقاومة الحرارية للطبقة العازلة منخفضة. هذه الأمكنة تسمى جسوراً حرارية.

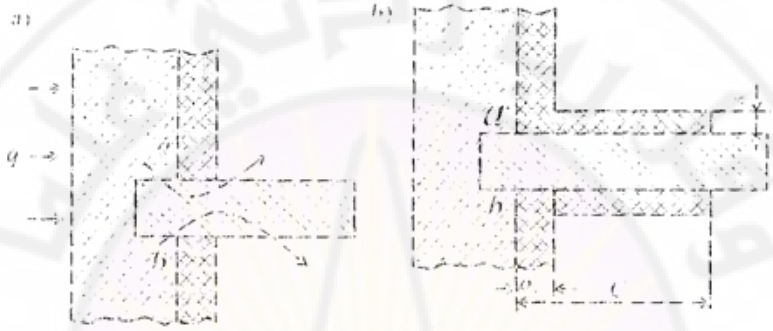
في هذه الأمكنة يتم تركز لشدة التدفق الحراري. وبالتالي يزداد التدفق الحراري بشكل غير متناسب مع مساحة هذه الجسور. والضرر الأكبر الذي تسببه هذه الجسور هو أنها تعد مكاناً لتسرب الرطوبة إلى طبقات العزل.

يمكن الحد من تأثير الجسور الحرارية بوضع ألواح عازلة جانبية للجسور الحرارية شكل (3-6,b) . لتحديد طول هذه الألواح ( ) الكافي لإزالة التأثير الضار الناتج عن الجسور الحرارية يمكن عملياً كتقريب أولي أن المقاومة الحرارية على طول الجسر المغطى بألواح عازلة يجب أن تتساوى مع المقاومة الحرارية لطبقة العزل الأساسية أي أن :

$$\frac{\delta_{ins}}{\lambda_{ins}} = \frac{C}{\lambda_M}$$

وبالتالي :

$$C = \frac{\delta_{ins} \cdot \lambda_M}{\lambda_{ins}} \qquad (3.14)$$



الشكل (3.6)

الإقطاع في بلاطة العزل في الحمامات الإنشائية المعلقة الطوابق

إذ: λ_M معامل التوصيل الحراري لمادة الجسر الحراري.

بما أن معامل التوصيل الحراري لمواد البناء أكبر بشكل ملحوظ من معامل التوصيل الحراري للمواد العازلة، فإن طول الألواح C يمكن أن يساوي $1 \div 1.5\ m$ سماكة الألواح العازلة δ_{ins} تؤخذ عادة مساوية إلى $\frac{1}{2}\delta_{ins}$. إن تركيب هذه الألواح يؤدي إلى زيادة في استهلاك المواد العازلة كما يسبب تشكيل حواف على الأسطوح وتقليل المساحة المفيدة في المكان المعزول .

لهذه الأسباب فإن اللجوء إلى هذه الطريقة يمكن أن يتم فقط عند عدم إمكانية إيجاد طرق أخرى أكثر نجاعة .

يمكن الحصول على عزل بشكل طبقات غير متقطعة في البرادات المبنية إذ تكون جدرانها ذاتية الحمل . هذه البرادات يمكن أن تأخذ أحد شكلين: الأعمدة قريبة من الجدران شكل (3-7.a) والأعمدة بعيدة عن الجدران شكل (3-7.b) . انقطاع طبقة العزل في الحالتين السابقتين يتم فقط عند الأعمدة ولذا يتم عزل الأعمدة بطبقة δ_i من مواد العزل الذي تكون فيه

الأعمدة بعيدة عن الجدران مسؤولة وضع طبقة عزل مرطبة للعزل وصيانته وسهولة تحضير وتركيب أجهزة التبريد .

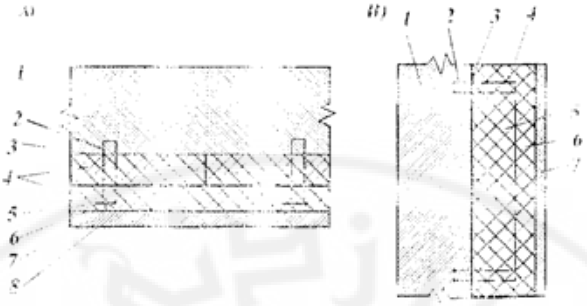


شكل (3-7)

الشكل (3-8,a) يبين احد طرق تثبيت الطبقات العازلة المجهزة بشكل الواح .

الألواح 4 تلصق على السطح 1 الذي توضع عليه مسبقا طبقة عزل بخاري (رطوبة) 3 وتلصق على بعضها البعض، كما تثبت بواسطة قصر من القدد (المزالج) الخشبية 5 . لتثبيت القدد الخشبية على السطح تستخدم أوتاد خشبية أو براغي 2، أبعاد مقاطع القدد الخشبية يؤخذ عادة 50 × 50 أو 60 mm × 50 إذا كانت سماكة الألواح العازلة مسبقة الصنع اكبر من سماكة مقطع القدد الخشبية فإن الفراغ المتشكل يملأ بعنصر 6 من نفس المادة العازلة . تثبت على القدد الخشبية مدة إسمنتية 7 بواسطة براغي 8 .

إذا وضعت الطبقة العازلة 5 شكل (3-8,b) على السطح 1 بطريقة التغبير فيجب ان توضع قدد خشبية 6 قبل التغبير بحيث تكون المسافة بين السطح المعزول (أي من طبقة العزل البخاري 3) إلى الوجه الأعلى للقدد الخشبية مساوية لسماكة طبقة العزل الحراري ، بهذا الشكل عند التغبير بالعازل ستساعد القدد الخشبية بالحصول على سماكة الطبقة المطلوبة بشكل دقيق. تثبت على القدد أيضا طبقة إسمنتية جافة 7 . لتثبيت القدد الخشبية بالجدار تستخدم أوتاد خشبية 2 .



الشكل (3-8)

تثبيت مادة العزل الحراري على الجدران

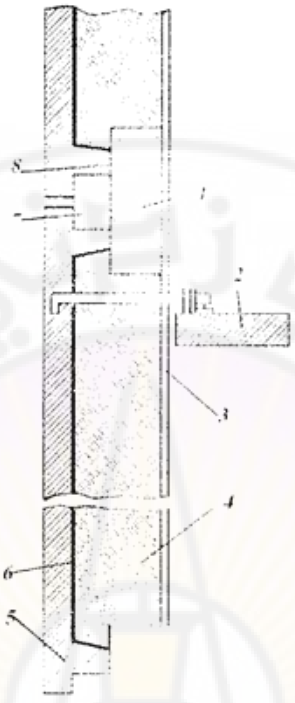
A- عازل حراري من مواد لوحية.

B- عازل حراري من مواد مغيرة.

في حالة استخدام مواد عزل متينة بشكل كاف، مثل البيتون الرغوي والزجاج الرغوي وغيرها، فإن مادة الجدار تعتبر أحياناً حاملة وعازلة حرارياً بنفس الوقت.

بهذا الشكل أنجز العديد من البرادات المخصصة لحفظ اللحوم في روسيا ولكن بدون طبقة عزل بخاري وهذا ما أدى إلى ترطيب زائد للمادة وخاصة عند استعمال البيتون الرغوي لعزل الغرف ذات درجات الحرارة المنخفضة.

عند بناء البراد من ألواح بيتونية مسبقة الصنع يوجه اهتمام كبير لتكون طبقة العزل متصلة (قطعة واحدة). مكان التقاء لوحين من الألواح موضح على الشكل (3-9). الألواح البيتونية المسلحة المسبقة الصنع 5 تصنع بشكل مستطيلات بعرض 2000 mm وطول يناسب وارتفاع طابق واحد من البراد. توضع على السطح الداخلي للألواح طبقة عازلة للرطوبة 6 من الزفت تلصق عليها مواد لفائية بمساعدة الزفت أو الهيدروإيزول. على الطبقة العازلة للرطوبة توضع الطبقة العازلة الحرارية 4 وعليها توضع ألواح من مدة أسبستوس إسمنتية جافة 3. هذه الأعمال كلها تنجز مسبقاً في مكان خاص مجهز عند البناء أو في معمل إنتاج البيتون المسلح. عند تركيب الألواح تثبت مع الأغطية 2 والفراغ 7 المتشكل يعبأ بالبيتون. على مكان الاتصال توضع طبقة عزل للرطوبة 8 وبعدها توضع طبقة عزل حراري 1. مكان الاتصال يغطى بطبقة عازلة ويغلق بمدة أسبستوس اسمنتية. في أمكنة الاتصال يكون العزل الحراري ضعيفاً وكثيراً ما تكون بؤرة لحدوث تكاثف بخار الماء على السطوح الخارجية للجدران وفي داخل العزل.



عزل جدران بيوت بتعدد الطوابق من ألواح مسبقة الصنع

البرادات العديثة وحيدة الطابق تتشكل من هيكل خارجي أو داخلي شكل (10-3) والذي يتألف من أعمدة فولاذية 6 وعوارض 10، تثبت على الأعمدة ألواح حائطية معزولة 7 ، وعلى العوارض تتوضع ألواح سقفية 8 . الألواح المعزولة والمتعددة الطبقات نوع (سيندويتش) تحتوي على غطاءين داخلي 14 وخارجي 15 من رقائق الفولاذ أو الألمنيوم بسماكة 0.8 ÷ 1 mm مملوءين بالبولي أوريتان الرغوي 11 ذي معامل توصيل حراري $\frac{W}{m^{\circ}C}$ 0.019÷0.020 . الألواح تجهز بعرض 1.5 m ÷ 1.2 وبطول حتى 24 m .

هذه الألواح يمكن أن تركب بـ بشكل أفقي كما هو مبين على الشكل (8-3) وبـ بشكل عمودي .

عند بناء البرادات وحيدة الطابق ذات الارتفاع الكبير تثبت الألواح على الهيكل الفولاذي بعناصر خشبية . في أمكنة الالتقاء بين الألواح يوضع شريط من البولي أوريتان الرغوي 12 أو تصب بهذه المادة، ويغلق مكان الالتقاء بالمعجون المرن 13 .



شكل (٣-١١)



مسائل محلولة:

مسألة (1):

جدار من البيتون الرغوي يفصل غرفة درجة حرارة الهواء فيها $t_1 = 18\,^{\circ}C$ والرطوبة النسبية $\varphi_1 = 90\,\%$ عن غرفة أخرى مبردة درجة الحرارة فيها $t_2 = -18\,^{\circ}C$. أوجد السماكة الضرورية لجدار البيتون الرغوي إذ لا يحدث تكاثف على سطح الجدار .

الحل :

كي لا يحدث تكاثف بخار الماء على سطح الجدار الفاصل من جهة الغرفة ذات درجة الحرارة المرتفعة يجب أن تكون درجة حرارة هذا السطح أكبر من درجة حرارة نقطة الندى لهواء الغرفة، أي أن $t'_1 > t_{d1}$. عندئذ معامل الانتقال الحراري للجدار يوجد من العلاقة :

$$k = 0.95 \cdot \alpha_1 \frac{t_1 - t_{d1}}{t_1 - t_2}$$

درجة حرارة نقطة الندى عند $t_1 = 18\,^{\circ}C$ و $\varphi_1 = 90\%$ تكون $t_{d1} = 16.4\,^{\circ}C$. يمكن أن نأخذ قيمة $\alpha_1 = 8.7\ W/m^2{}^{\circ}C$.

عندئذ :

$$k = 0.95 \cdot 8.7 \frac{18 - 16.4}{18 + 18} = 0.367 w/m^2C^{\circ}$$

سماكة طبقة العزل

$$\delta_{ins} = \lambda_{ins}\left[\frac{1}{k} - \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}\right)\right]$$

ولنفرض أن الجدار يعمل عند درجة حرارة منخفضة ورطوبة عالية لذا نأخذ $\lambda_{ins} = 0.174\ W/m^{\circ}C$ للبيتون الرغوي .

δ_i سماكة طبقات الجدار ما عدا طبقة العزل، نعتبر أنه على الجدار من كلا الجهتين طبقة من الطينة الإسمنتية بسماكة $20\ mm$، معامل توصيلها الحراري $\lambda = 0.93\ W/m^{\circ}C$.

يمكن أن نأخذ قيمة $\alpha_2 = 8.15\ W/m^2\,^{\circ}C$.

$$\delta_{ins} = 0.174\left[\frac{1}{0.367} - \left(\frac{1}{8.7} + \frac{2 \cdot 0.02}{0.93} + \frac{1}{8.15}\right)\right]$$

$$= 0.174 \cdot 2.904 = 0.436m$$

من الأسهل حل هذه المسألة بطريقة التقريب المتتالي بإعطاء قيم لـ δ_{ins} في حال استخدام قطع العزل الصلب ينبغي اختيار سماكة العزل من مضاعفات سماكة القطع القياسية . طالما أن القلين المعدني يكون بسماكة 50 mm . لذا يمكن اعتماد القيم التالية لـ D_{ins} :

$$D_{ins} = 0.057 + 2 \cdot 0.05 = 0.157 \text{ m}$$

$$D_{ins} = 0.057 + 2 \cdot 2 \cdot 0.05 = 0.257 \text{ m}$$

في الحالة الأولى:

$$\ln \frac{0.157}{0.057} = 0.207 < 0.34$$

في الحالة الثانية:

$$\ln \frac{0.257}{0.057} = 0.3864 > 0.34$$

وبهذا الشكل فإن سماكة عزل الأنبوب يجب أن تكون $\delta_{ins} = 100$ mm أي طبقتين بسماكة 50 mm لكل طبقة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

حساب التدفقات الحرارية في البرادات

٤ - ١- مفاهيم أساسية :

حساب التدفقات الحرارية يعني حساب الحرارة التي يكسبها المكان المبرد من مصادر حرارية مختلفة والتي يمكن أن تبدي تأثيراً على استقرار النظام الحراري في المكان المبرد . الهدف النهائي للحساب هو إيجاد إنتاجية الأجهزة التبريدية اللازمة لكل مكان مراد تبريده والتي تكفي للحفاظ على الشروط الحرارية للهواء داخل البراد، إضافة إلى ذلك حساب التدفقات الحرارية ضرورية لإيجاد الاستطاعة التبريدية لتجهيزات تكييف الهواء والضرورية للمحافظة على درجة الحرارة في غرف البراد .

في حالة الاستقرار تتسرب إلى المكان المبرد وتظهر فيه الأشكال التالية للتدفقات الحرارية :

١ تدفقات حرارية من الوسط المحيط Q_1 وذلك عن طريق تسرب الحرارة عبر الجدران .

٢ تدفق حراري من السلع Q_2 عند المعالجة الحرارية أو انبعاث حرارة عند حدوث تفاعل .

٣ تدفق حراري من الهواء الخارجي Q_3 عند تهوية المكان .

٤ تدفقات حرارية استثمارية Q_4 من مصادر مختلفة .

مجمل هذه التدفقات الحرارية $Q = \Sigma Q_i$ يشكل الحمل الحراري لأجهزة التبريد .

من الجدير بالذكر أن التدفقات الحرارية المذكورة غير ثابتة مع مرور الزمن بل تتغير بشكل دائم إلا أن Q_1 ، Q_3 مشروطين بتأثير الوسط المحيط ويتغيران بتغير الفصل وتغير درجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء الخارجي على مدار اليوم . بالمقابل فإن Q_2 تتعلق بموسم ورود السلع .

هناك خاصية أخرى وهي أن القيم الأعظمية للتدفقات الحرارية لا تتوافق بالوقت ويمكن أن تكون بأوقات مختلفة من اليوم والسنة .

المحطة التبريدية يجب أن تصمم بحيث تتمكن من تأمين التبريد عند الحالة الأسوأ للتدفقات الحرارية . ولأجل اختيار وتحديد الحالة الأسوأ من الضروري رسم منحنيات سنوية للتدفقات الحرارية من المصادر المختلفة ومن ثم جمع هذه التدفقات التي تتوافق مع أوقات مختلفة وبالتالي إيجاد الفترة التي يكون فيها أكبر مجموع للتدفقات الحرارية والتي تعد أسوأ فترة وأكبر حمل للتجهيزات التبريدية . هذه الفترة تسمى الفترة التصميمية والمجموع الأعظمي للتدفقات الحرارية الموافق لهذه الفترة يسمى التدفق الحراري التصميمي والذي على أساسه يتم حساب واختيار أجهزة التبريد .

اختيار الفترة التصميمية يمكن أن يتم بشكل أبسط وذلك انطلاقاً من الاعتبارات التالية :

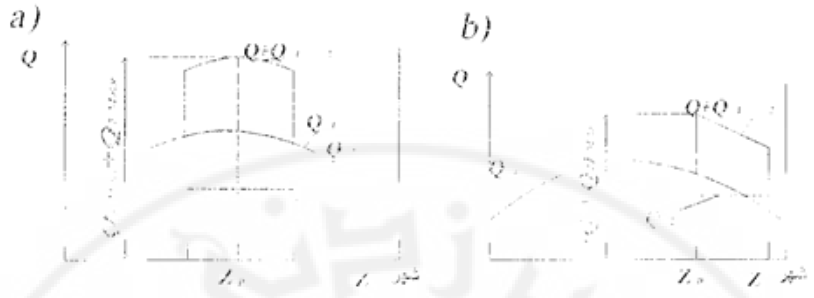
من بين جميع التدفقات الحرارية فإن Q_1 و Q_2 يشكلان قيمة أساسية وكبيرة أما بقية التدفقات الحرارية فهي صغيرة بالمقارنة مع Q_2 . وبالتالي يكفي أن نجد الفترة التي تتوافق مع المجموع الأعظمي لهذين التدفقين الحراريين .

فيما يتعلق بالتدفق الحراري من الهواء الخارجي (Q_3 و Q_1) بديهي أن القيمة الأعظمية تتوافق مع أكثر أوقات السنة حراً .

تغير التدفق الحراري يحدث عن طريق منحني معين لكل . في بعض الحالات تكون القيم الأعظمية لكلا التدفقين Q_1 و Q_2 تكون في وقت واحد شكل (4-1,a) . في هذه الحالة الفترة التصميمية تتوافق مع أكثر أوقات السنة حراً، أما الحمل الحراري التصميمي فهو عبارة عن مجموع القيمتين الأعظميتين التدفقين الحراريين المذكورين :

$$Q_P = Q_{1max} + Q_{2max}$$

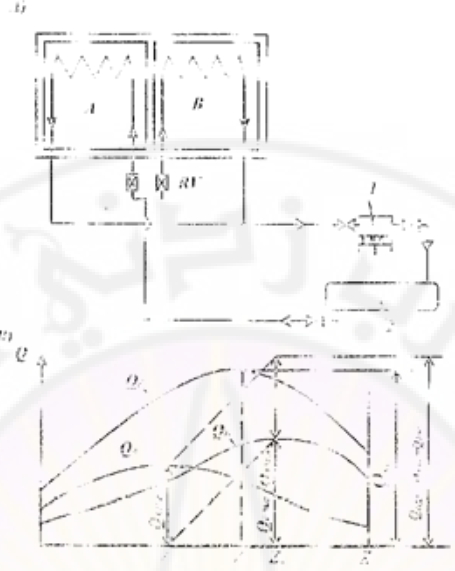
في حال عدم توافق القيم الأعظمية للتدفقات الحرارية في وقت واحد الشكل (4-1,b) فإن التدفق الحراري التصميمي يساوي إلى المجموع الأعظمي للتدفقين الحراريين $Q_P = (Q_1 + Q_2)_{max}$ عند الفترة التصميمية Z_P وهذا المجموع أقل من مجموع القيمتين الأعظميتين للتدفقين $Q_{1max} + Q_{2max}$.



شكل (4-1) : إيجاد الفترة التصميمية

عند إجراء الحسابات لغرف مختلفة تزود بآلة تبريدية واحدة (أو عدة آلات على التوازي) تظهر لدينا حالتين أخرى للتدفقات الحرارية حيث نميز بين الأحمال التصميمية لتجهيزات الغرف المبردة وبين الأحمال التصميمية لتجهيزات قسم الآلات (الضاغط) . يفهم من تعبير الأحمال التصميمية لتجهيزات الغرف قيمة الأحمال الحرارية التي تحدد الإنتاجية التبريدية الضرورية لهذه التجهيزات ومساحة سطوحها. أما من تعبير الحمل التصميمي للضاغط يمكن أن نفهم بأنه قيمة الأحمال الحرارية التي من خلالها تتحدد استطاعة الضاغط الضرورية و تجهيزات الأخرى لقسم الآلات . في أية لحظة من الزمن فإن مجموع كميات الحرارة المبعدة من الأمكنة المبردة A , B شكل(4-2,a) يحدد استطاعة الضاغط I في هذه اللحظة وأيضاً التدفق الحراري للمكثف 2 . أي بكلام آخر لا يوجد فرق بين التدفق الفعلي لتجهيزات الغرف وبين تدفق الضاغط في أية لحظة من الزمن . تغير التدفقات الحرارية تشكل الخبرة يؤدي إلى تغير كمية بخار وسيط التبريد المتشكل في أجهزة التبريد .

إن سبب ظهور فرق بين الحمل التصميمي لتجهيزات الغرف والحمل التصميمي للضاغط ناتج عن إمكانية عدم التطابق في الوقت الحمل الأعظمي في الغرف المختلفة للبراد . على الشكل (4-2,b) نرى منحنيين للأحمال الحرارية للمكانين المبردين B و A (الخطين Q_A وQ_B). التدفقين الحراريين الأعظمين لهذين المكانين غير متطابقة بالزمن بل يحدث مع أزمنة مختلفة Z_A وZ_B.



شكل (2-4)

مجموع التدفقات الحرارية للمكانين في أية لحظة هو عبارة عن الحمل الفعال للضاغط ويمثل في الخط Q_K على الشكل السابق . من الطبيعي أن الحمل التصميمي لتجهيزات المكان A هو التدفق الأعظمي لهذا المكان $Q_{A max}$ والمكان B هو $Q_{B max}$. الحمل التصميمي للضاغط هو المجموع الأعظمي للتدفقات الحرارية أي :

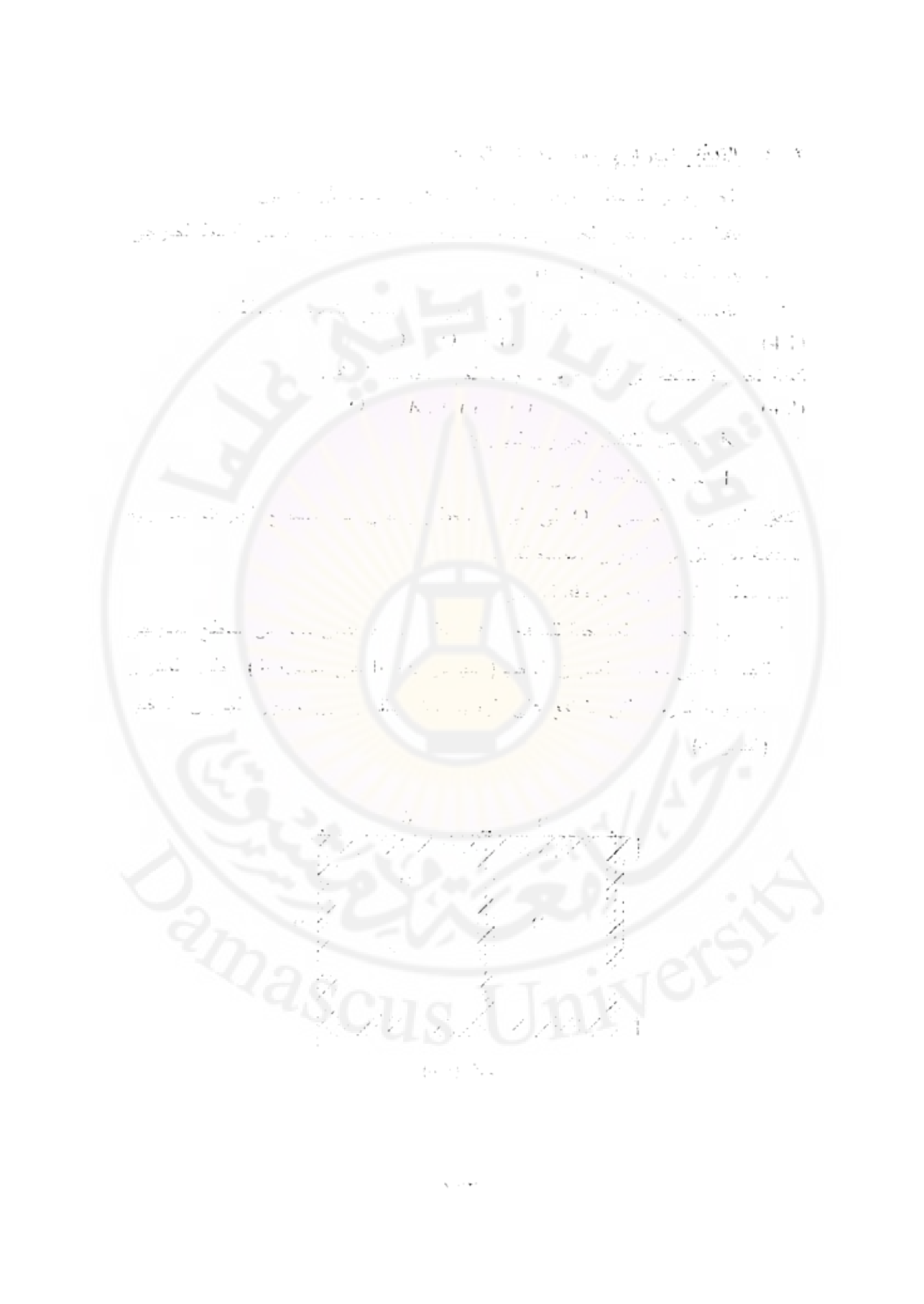
$$Q_{KP} = (Q_A + Q_B)_{max}$$

والتي توافق اللحظة Z_K . وفي هذه الحالة نرى ببساطة أن مجموع الحمل التصميمي لتجهيزات الأمكنة المبردة أكبر من الحمل التصميمي الضاغط اي :

$$Q_{K.P} = Q_{A max} + Q_{B max} > Q_K$$

لو حسب الحمل التصميمي للضاغط كمجموع الأحمال التصميمية لتجهيزات الأمكنة المبردة لأدى ذلك إلى ضرورة زيادة استطاعة تجهيزات قسم الآلات . الاختلاف بالأحمال التصميمية لما كان حدث لو أن التدفقات الحرارية الأعظمية للأمكنة المبردة تطابقت في زمن واحد .

إن الحساب الدقيق لجميع التدفقات الحرارية المختلفة غير ممكن . لذا نلجأ إلى طرق حسابية مبسطة تتخلف من حجم العمل عند حساب الأحمال الحرارية .



٢- طول سطوح الجدران الداخلية يؤخذ إما بالقياس من السطح الداخلي للجدران الخارجية وحتى محور الجدران الداخلية المتصلة (القياسان a و b) أو بين محاور الجدران الداخلية (القياس c).

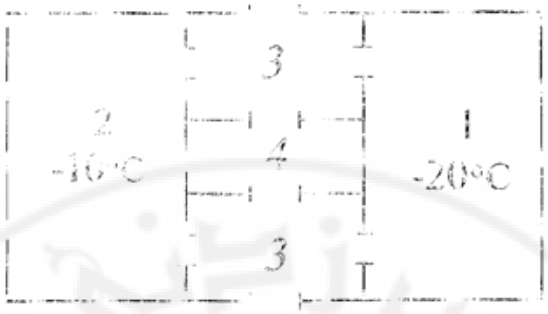
٣- طول وعرض الأرضية والسقف يحدد كطول الجدران الداخلية (القياسان a أو b و c).

٤- ارتفاع الجدران في الطابق المعني والطابق الأول الذي يوضع على الأرض يحسب من مستوى الأرضية للطابق المعني وحتى أرضية الطابق الذي يليه ، هذا يعني أن الارتفاع يدخل فيه ضمنا سماكة الغطاء فوق الغرفة المعنية . في الطابق الاخير يحسب الارتفاع من مستوى الأرضية وحتى أعلى الغطاء. أما في الطابق الأول الموضوع فوق قبو فيحسب من مستوى سقف القبو وحتى مستوى أرضية الطابق الذي يليه .

عند حساب كمية الحرارة التي تعبر الجدران الداخلية الفاصلة بين غرف التبريد أو بين غرف مبردة وغرف مدفأة تستخدم العلاقة (4-2) بعد وضع درجة الحرارة الداخلية للغرفة التي يتدفق منها التيار الحراري مكان t1 في العلاقة المذكورة .

عند حساب التدفقات الحرارية يجب الأخذ بالحسبان التدفق الحراري بين الغرف غير المبردة وغير المدفأة حيث درجة الحرارة في هذه الغرف غير معدلة إلا أن درجة الحرارة في هذه الغرف تستقر بشكل تلقائي بنتيجة الربح الحراري من الهواء الخارجي والفقد الحراري إلى الغرف المبردة المجاورة .

بما أن إجراء مثل هذه الحسابات كل مرة صعب علينا ، لذلك نستخدم أحيانا علاقات تقريبية . وهكذا لتحديد التدفق الحراري عبر جدران الغرف غير المبردة والتي تحتوي على مخرج مباشر للخارج يؤخذ فرق درجات الحرارة التصميمي بمقدار 70 % من الفرق التصميمي لدرجات الحرارة للجدران الخارجية . إذا كانت الغرف غير المبردة لا تحتوي على مخرج مباشرة للخارج يؤخذ فرق درجات الحرارة الحسابي 60 % من فرق درجات الحرارة للجدران الخارجية، شكل (4-4) . بين الغرف المبردة 1 و 2 يوجد بهوان غير مبردين 3 يحتويان على مخرجين للخارج والغرفة غير المبردة 4 لا تحتوي مخرجا مباشرا للخارج .



شكل (4 - 4)

درجة الحرارة التصميمية للهواء الخارجي $t_o = 30\ ^oC$ بهذا الشكل فإن فرق درجات الحرارة التصميمي للجدران الخارجية الغرفة 1 يكون $t_o - t_i = 50\ ^oC$ والغرفة 2 يكون $40\ ^oC$. عند حساب التدفق الحراري من الغرفة 3 إلى الغرفة 1 يؤخذ الفرق التصميمي لدرجات الحرارة $35\ ^oC = 50 \times 0.7$ أما للتدفق الحراري إلى الغرفة 2 يؤخذ الفرق $28\ ^oC = 40 \times 0.7$.

بالنسبة للتدفق الحراري من الغرفة 4 إلى الغرفة 1 يؤخذ فرق درجات الحرارة التصميمي $30\ ^oC = 50 \times 0.6$ ، عند حساب التدفق الحراري إلى الغرفة 2 يؤخذ الفرق $24\ ^oC = 40 \times 0.6$ ، عند حساب التدفق الحراري عبر الأرضية من جهة القبو غير المبرد يؤخذ الفرق الحسابي لدرجات الحرارة بمعدل 50 % من فرق درجات الحرارة للجدران الخارجية.

التدفق الحراري الناتج من أرضية غرف التبريد ذات درجات الحرارة السالبة والمتوضعة على التربة مباشرة تحسب كالتالي :

إذا كانت أرضية التبريد لا تحوي مسخنات كهربائية فإن التربة تحت غرف التبريد يمكن أن تتجمد على عمق معين، في هذه الحالة فإن التدفق الحراري من الطبقات السفلى للتربة يصرف فقط لتبريد وتجميد التشكل ولا يعبر عبر التربة المتجمدة. ولذا فإن التدفق الحراري من الأرضية المتوضعة على التربة هو عبارة عن التدفق المكتسب من طبقة التربة ذات درجة الحرارة $0\ ^oC$ (من الطبقة ذات الإيزوتيرم الصفري) .

الصيغة الحسابية لتحديد التدفق الحراري في هذه الحالة :

$$Q = F \cdot \frac{t}{R} \qquad (4.3)$$

إذ: F- مساحة الأرضية .

t_i : درجة حرارة أسكان المبرد بالقيمة المطلقة .

R_3 : المقاومة الحرارية من الطبقة الترابية ذات درجة الحرارة الصفرية إلى هواء الغرفة المبردة .

إن المقاومة R_0 تشتمل على المقاومة الحرارية بالتوصيل للتربة R_1 من درجة الحرارة الصفرية وحتى الطبقة الإنشائية للأرضية، والمقاومة الحرارية بالتوصيل R_2 للطبقة الإنشائية للأرضية (معزولة أو غير معزولة) وكذلك المقاومة الحرارية بالتدفق من سطح الأرضية إلى هواء الغرفة R_3 أي أن :

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3$$

إذا كانت الغرف المبردة ذات درجات حرارة في المجال ($-1 \div -2.5$ °C) يمكن اعتبار أن الإيزوتيرم الصفري يقع مباشرة تحت الطبقة الإنشائية للأرضية وبالتالي فإن $R_1 = 0$ وتكون $R_0 = R_2 + R_3$.

إذا كانت أرضية الغرف المبردة تحتوي على مسخنات كهربائية يحسب التدفق الحراري بالعلاقة :

$$Q = K_d \cdot F \cdot (t_m - t_i) \qquad (4.4)$$

إذ :

K_d : معامل الانتقال الحراري لطبقات الأرضية المعزولة .

t_m : درجة الحرارة الوسطية للأرضية عند وجود التسخين .

t_i : درجة الحرارة الداخلية .

عند تسخين الأرضية بمسخنات كهربائية ضمن ألواح بيتونية، وكذلك عند التسخين بالسوائل المتدفقة ضمن أنابيب موضوعة في الطبقة البيتونية أو عند التسخين بخار الماء المتبرد المتكاثف في الأنابيب، عند ذلك تؤخذ درجة الحرارة الوسطية $t_m = +1$°C . أما إذا كانت الأرضية ذات قنوات هوائية فنظرا لعدم تجانس درجات الحرارة في القنوات الهوائية المختلفة تؤخذ درجة الحرارة الوسطية للطبقة ذات القنوات الهوائية ($t_m = 3$).

حساب التدفق الحراري الناتج عن شدة الأشعة الشمسية:

يعطى التدفق الحراري الناتج عن شدة الأشعة الشمسية بالعلاقة التالية :

$$Q_{IC} = K_d \cdot F \cdot \Delta t_C \qquad (4.5)$$

إذ :

K_c - عامل انتقال الحرارة التحقيقي لجهيرات الغلاف (جدار خارجي، سقف، سطح ...) W/m^2K .

F- مساحة سطح البناء المعرض لأشعة الشمس m^2 .

Δt_c- فرق درجتي الحرارة من جراء تأثير الأشعة الشمسية في فصل الصيف (°C) ويؤخذ من الجدول (4-1) .

إن كمية الحرارة الناتجة عن تأثير الأشعة الشمسية تتعلق بجغرافية البناء وشكله وسيادة الظلال والأغطية المخصصة له .

من الضروري تحديد السطوح التي يجب حساب الحمل الحراري المتدفق خلالها والناتج عن الأشعة الشمسية . حيث على مدار النهار تتعرض كافة جهات بناء البرد للأشعة الشمسية ما عدا الجهة الشمالية بوقت معين من النهار لذا من الضروري عند الحساب أن نأخذ التدفق الحراري لجميع السطوح المعرضة للإشعاع . إذا كانت البناية تحتوي على عدد من الغرف المبردة ، عند حساب التدفق الحراري على الضاغط نأخذ التدفق الحراري عبر غطاء البرد والتدفق الحراري عبر الجدار الخارجي الذي يتدفق عبره أكبر تدفق حراري بالمقارنة مع جميع جدران البناية في الزمن نفسه .

عند حساب التدفق الحراري لتجهيزات الغرفة المبردة يؤخذ التدفق الحراري عبر الجدار الذي يتدفق خلاله أكبر حمل حراري بالنسبة للغرفة المعتبرة، وطبعا عبر الغطاء اذا كانت الغرفة المبردة تقع مباشرة تحت الغطاء .

يوضح هذه المسألة لوزد مثلا لتحديد التدفق الحراري إلى البناية والناتج عن الأشعة الشمسية، مخطط البناية موضح على الشكل (4-5) .



الشكل (٤-٥)

بما أن مساحة سطح الجدار الجنوبي أكبر بكثير من بقية السطوح وبالتالي فإن التدفق الحراري عبر الجدار الجنوبي يكون أكبر بكثير بالنسبة للأخرى، لذا فإنه يدخل في حساب التدفق الحراري على الضاغط .

بالنسبة الغرفة 1 أكبر حمل حراري يتدفق عبر الجدار الغربي وبالتالي يدخل في الحساب الحراري لتجهيزات الغرفة . وبشكل مشابه للغرفة 3 إذ أكبر تدفق حراري يتم عبر الجدار الشرقي، بالنسبة للغرفة 2 فإن التدفق الحراري الناتج عن الإشعاع الشمسي لن يدخل في

جدول (4-1):

4-3 التدفق الحراري الناتج عن المعالجة الحرارية للسلع Q2():

$$Q = \frac{1000}{3600} \quad (4-1)$$

Q : التدفق الحراري الناتج عن المعالجة الحرارية (واط / ثانية) .

: كتلة السلع (kg) .

: الحرارة النوعية للسلع ( ) .

: درجة حرارة السلع قبل المعالجة الحرارية ( ) .

: درجة حرارة السلع بعد المعالجة الحرارية ( ) .

: مدة المعالجة الحرارية (ثانية)

تم تقدير كتلة السلع بعد فصل عينة منها ووزنها ثم حساب كتلة السلع الكلية من العلاقة التالية (4-1) :

كتلة السلع الكلية = كتلة العينة × عدد السلع الكلي (kg)

جدول ( )

(kJ/kg)

4 - 4- التدفق الحراري الناجم عن تهوية الغرف المبردة :

التهوية عبارة عن تبديل الهواء الداخلي بهواء خارجي جديد .

الهواء الخارجي الداخل إلى غرفة التبريد يجب أن يبرد إلى درجة حرارة الغرفة وتخفض رطوبته النوعية حتى رطوبة هواء غرفة التبريد .

تهوية غرف التبريد تجري عادة للأسباب التالية :

١- ضرورة تأمين شروط وسط هوائي عادية لعمل الذين يعملون في هذه الغرف .

٢- وجود متطلبات تكنولوجية لحالة الوسط الهوائي .

في بعض الغرف الإنتاجية وعند درجة حرارة منخفضة نسبياً يترتب وجود عدد كبير إلى حد ما من العمال وحسب الشروط الصحية يجب تبديل هواء خارجي خارج إلى هذه الغرف بمعدل 20 m3/h لكل عامل .

التدفق الحراري من هذا الهواء بوحدة الزمن يحسب بالعلاقة:

$$Q_3 = 20 \cdot n \cdot \rho_i \cdot (i_o - i_i) / 3.6 \ [W] \qquad (4.8)$$

إذ :

n عدد الأشخاص الذين يعملون في وقت واحد في الغرفة .

ρ_i الكتلة النوعية لهواء الغرفة .

i_i المحتوى الحراري النوعي لهواء الغرفة . kJ/kg i_o المحتوى الحراري النوعي لهواء الخارجي . kJ/kg

من الناحية التكنولوجية نحتاج لتهوية بعض الغرف (عادة ذات درجات الحرارة الموجبة) لإزالة الروائح التي تفرزها المنتجات المحفوظة . ولذلك من الضروري تبديل الهواء عدة مرات (a) في اليوم .

يؤخذ عدد مرات تبديل الهواء بحدود مرة واحدة إلى ستة مرات في اليوم وبهذه الحالة يكون التدفق الناجم من الهواء الخارجي :

$$Q_3 = V \cdot a \cdot \rho_i \cdot (i_o - i_i) / (3.6 \times 24) \qquad (4.9)$$

إذ:

V الحجم الذي تشغله الغرفة المعينة.

التدفق الحراري Q_3 يحسب كمثل عند تقييم وتحديد الحمل على تلك تجهيزات الغرفة .

٤-١ التدفق الحراري الناتج عن الاستنارة :

بالإضافة إلى الطاقة الحرارية المباشرة الناتجة عن الشمس ، هناك مصادر حرارية أخرى داخلية عن مصادر غرف التبريد ، بالإضافة إلى الطاقة الحرارية الناتجة عن الطاقة الكهربائية المستهلكة داخل الغرف كالإضاءة والمحركات الكهربائية ... الخ

أ – التدفق الحراري الناتج عن الإضاءة :

الطاقة الكهربائية المستهلكة في مصابيح الإضاءة داخل الغرف تتحول إلى طاقة حرارية ، فمثلاً مصباح ١٠٠ شمعة المصنوع من (W) تستهلك في غرف التبريد فالتدفق الحراري في وحدة الزمن يكون :

$$Q = 100 \quad (4.10)$$

عند تحليل غرف التبريد يمكن استخدام معدلات الطاقة المصنوع لكل وحدة مساحة أو لكل $1\ m^2$ من مساحة أرضية الغرفة ، فالتدفق الحراري الناتج عن الإضاءة حسب المعادلة التالية :

$$Q = q_{ill} \cdot A \quad (4.10a)$$

حيث :

q_{ill} كمية الحرارة المتحررة من مصابيح الإضاءة ، W/m^2

A مساحة الغرفة m^2 .

تحسب كمية الحرارة لكل $1\ m^2$ من غرف التجميد (التجزيد) $12\ W/m^2$ ، ومن غرف التبريد المتوسط $4.5\ W/m^2$.

ب – التدفق الحراري الناتج عن تشغيل المحركات الكهربائية :

في غرف التبريد يمكن أن تعمل بعض التجهيزات مثل (مروحة التبريد ، مضخات دعم التكثيف ، عمل المحركات الكهربائية لفتح الأبواب الأتوماتيكي ... الخ) ، كانت المحركات موجودة داخل غرف التبريد فالحرارة التي تضيفها تنتقل إلى الهواء الغرفة ، وتحسب بالعلاقة :

$$Q = \eta \cdot 1.5 \times 10^{-3} \cdot W \quad (4.11)$$

حيث :

η' – عامل يراعي عدد الأجهزة التي تعمل في الوقت نفسه ، وهو يتعلق بعدد المحركات الكهربائية وبطبيعة الإجراء التكنولوجي ويؤخذ في المجال : $\eta' = 0,7 \div 1,0$.

N_e – استطاعة المحرك الكهربائي بـ (Kw) . في الحالات التي تكون فيها المحركات الكهربائية موضعة خارج غرف التبريد فالتدفق الحراري يكون الناتج عن تحول الطاقة الكهربائية (مروحة ثوران وغيرها) ويستثنى يدخل في العلاقة السابقة حاصل المردود وبحسب التدفق بالعلاقة :

$$Q''_1 = \eta' \cdot \Sigma N_e \cdot \eta_e \cdot 10^3 \qquad (4\text{-}11,a)$$

إذ :

η_e – مردود المحرك الكهربائي .

يمكن تحديد استطاعة محرك الكهربائي بشكل تقريبي بحيث يتناسب مع حجوم هذه الغرف ومع استطاعة الأجهزة التبريدية .

فمثلاً :

غرف حفظ المواد الغذائية المبردة بمبرد : $1 \div 4$ kW

غرف التبريد : $3 \div 8$ kW

غرف التجميد : $8 \div 16$ kW

جـ – التدفق الحراري الناتج عن العمال :

كمية الحرارة التي يفرزها الشخص الواحد أثناء العمل المتوسط الجهد حوالي 350 W وبالتالي فالتدفق الحراري الناتج عن العمال :

$$Q''_2 = 350\ n \qquad (4\text{-}12)$$

إذ :

n – عدد العمال الموجودين في الغرفة علماً بأن عدد العمال في الغرفة يتعلق بمساحتها فمثلاً للمساحة حتى 200 m^2 يتراوح عدد الأشخاص فيها $(2 \div 3)$ وإذا كانت المساحة أكبر من 200 m^2 يحدد لها $(3 \div 4)$ أشخاص .

د – التدفقات الحرارية الناتجة عن فتح الأبواب :

يعطى التدفق الحراري بالعلاقة :

$$Q''_4 = q''_4 \cdot F \qquad (4.20)$$

[illegible] الحرارية الناتجة عن تنفس الفواكه :

[illegible]

[illegible] (٤ ـ ١) [illegible]

[illegible] ([illegible]) [illegible] .

[illegible] [illegible] [illegible] ١٠ [illegible] .

[illegible] [illegible] [illegible] ١٠ [illegible] .

[illegible] (٤ ـ ١) [illegible]

جدول (٤ ـ ١)

Damascus University

4-4- أجهزة التبريد المباشرة الأحجام :

جميع التدفقات الحرارية على الأجهزة المبردة والناتجة من مصادر مختلفة تجمع بشكل مستقل لكل غرفة أو جهاز :

$$Q_{o} = \Sigma Q_{oi} \qquad (4.17)$$

هذه القيمة تعتبر الحمل التصميمي لاختيار مساحة سطح التبادل الحراري لأجهزة التبريد التي يفترض أن توضع في الثلاث أجهزة .

بالنسبة للضاغط وحساب الحمل التصميمي له فالأمر يختلف . الحمولة تجمع بشكل مجموعات في بناء شبكة بحيث كل مجموعة تحت درجات حرارة واحدة أو متقاربة . عادة (من 2- وحتى 3+) .

فمثلاً في محلات المواد الغذائية يمكن تقسيم إلى المجموعات التالية :

غرف الإنتاج بدرجة حرارة من 10 °C وحتى 12 °C

غرف او أجزاء التبريد المنتجات بدرجة حرارة من 2 °C- وحتى 4+ °C

غرف احفظ المنتجات المجمدة، اجزاء لإنتاج الجليد بدرجة حرارة من 18 °C- وحتى 20 °C-

غرف التجميد المنتجات بدرجة حرارة من 25 °C- وحتى 30 °C -

غرف المنتجات المجمدة عند درجات حرارة عميقة حتى 50 °C-

لكل مجموعة من مجموعات غرف المراد نختار درجة حرارة غليان ودرجة الحرارة هذه تحدد شروط آلة التبريد .

من الطبيعي أن درجة الحرارة المختارة يجب أن تكون أقل من درجة الحرارة المطلوبة في المكان المبرد .

اختيار درجة الحرارة تحدد بقيمة المساريف الأصغرية (انظر العلاقة 3.5) كلما صغر الفرق بين درجة حرارة وسط المبرد و درجة حرارة غليان $\Delta t = t_R - t_0$ كلما زادت درجة حرارة الغليان و انخفضت تصميمات الطاقة الأخرى F لإنتاج البرودة .

بما أن الفرق درجة الحرارة Δt يؤدي إلى زيادة مساحة سطوح أجهزة التبريد F_0 أي :

$$F_O = \frac{Q_{oo}}{k_{oo}(t_R - t_{oo})} \qquad (4.18)$$

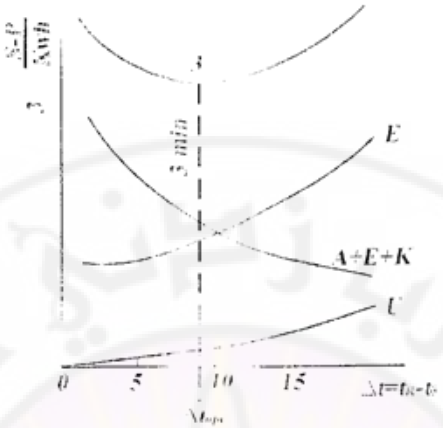
في هذه الحالة تزداد المصاريف الكلية K للتبريد بـ 5 ÷ 10 % تقريباً عن درجة الحرارة والذي يعني درجة حرارة غليان أخفض يؤدي إلى نتائج عكسية بالمقارنة مع الحالة الأولى .

بالنسبة لغرف التبريد الصغيرة المحطة منتجات الألبان فإن الفرق بين درجة حرارة يتفق بالفرق بين درجة حرارة هواء الغرفة ودرجة حرارة سطوح أجهزة التبريد . زيادة هذا الفرق والذي يتم عند انخفاض درجة حرارة الغليان يؤدي إلى زيادة جذب الحرارات والكلفة الناتجة عن الفقد U .

عند وجود تناقض بتغير المصاريف لحالتين مستقلتين نعتمد في درجات الحرارة الأمثل الذي يوافق أقل ضياعات في المصاريف المحولة . الشكل العام الأجل البياني لهذه المسألة موضح على الشكل (4 6) إذ تمثل على محور الترانيب المصاريف المحولة منسوبة لـ (1 kwh) من البرد المنتج .

حسابات مشابهة أجريت في معهد عموم الاتحاد السوفيتي للبحث العلمي والصناعات التبريدية وبينت أن $t_O - t_R$ في حالة تبريد الهواء تكون بحدود 7 ÷ 10 K التبخيرية و 6 ÷ 8 °K لمبردات الهواء . في مبخرات تبريد السوائل يكون الفرق 4 ÷ 6 °K . لذلك درجة حرارة تعيين لتضن التبريد المباشر تتهيأ تكون عند $t_O = t_R - (10 \div 10)$ وتبريد السوائل $t_O = t_R - (4 \div 6)$. في الأجهزة التكنولوجية المستقلة بهدف تسريع إجراء المعالجة تختار درجة حرارة أخفض . عند تجميع تبريد عدة تعاونيات ذات مسحة مخرج حرارة تبريد F_O المعطاة بالعلاقة (4-18) تزداد بمقدار 20 % (أي تتغير عامل التشغيل الزمني لأجهزة التبريد $\tau = 0,8$) .

بجمع الحسابات الحسابية على الضاغط تحدد الاستطاعة التبريدية للمحطة لكل درجة حرارة غليان على حدى .



الشكل (6 - 4) : التحديد البياني
لفرق درجات الحرارة الأمثل

لأجل إجراء حسابات تقريبية يمكن استخدام التدفقات الحرارية الموجودة بشكل قيم منسوبة لكل $1\ m^2$ من مساحة الغرفة ($q_i, w/m^2$) .

الجدول (4-5) يبين فيه ($q_i, W/m^2$) المعتمدة في روسيا .

جدول (4-5)

وظيفة غرفة التبريد	درجة الحرارة °C	التدفق الحراري النوعي q_i , W/m^2	
		براد وحيد الطابق	براد متعدد الطوابق
حفظ الأغذام مجمدة	-20	70 ÷ 90	65 : 45
حفظ ... مبردة	-3 ÷ 4	95 ÷ 80	65 : 60
غرفة ... حرارة عدة	-20 : 0	125 ÷ 75	80 : 70
...	-30	900 ÷ 850	900 : 850
...	-10	500 ÷ 450	500 : 450
حفظ الخضر المبردة	0 ÷ -2	100 ÷ 80	60 : 50
التبريد (الإرسال)	+12	35	35

عند إجراء الحسابات حسب الجدول السابق فإن جميع التدفقات الحرارية تؤخذ كجداء التدفقات الحرارية النوعية بمساحة غرفة التبريد أي أن $q_{\gamma} \cdot A = Q$. إن مثل هذا الحساب غير دقيق ، لكن يعطي جوابا سريعاً .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الخامس

طرق تبريد غرف البرادات ومخاطرات محطات التبريد

5-1- تحليل طرق تبريد الغرف :

يمكن الحفاظ على نظامي درجة الحرارة والرطوبة المحددين في غرف البراد بفضل عمل آلات التبريد وأجهزة التبريد المتوضعة في الأمكنة المبردة . عند تخطيط محطات التبريد واختيار نظام محدد للتبريد يجب أن يراعى نظام التبريد ما يلي :

١- أن يكون موثوقاً ومرناً في العمل وأن يسمح بفصل الآلات والأجهزة في حالة تغيير نظام العمل أو الإصلاح أو الصيانة .

٢- أن يكون مريحاً وبسيط الاستثمار وأن لا يشكل صعوبة للشخص الذي يراقب عمل محطة التبريد بشكل كامل أو جزئي .

٣- يجب أن يشتمل نظام التبريد على أجهزة قياس كافية لتسهيل عمل محطة التبريد.

٤- أن يلبي متطلبات قواعد الأمن الصناعي .

٥- أن يكون اقتصادي من الناحيتين التأسيسية والاستثمارية .

يستخدم في البرادات بشكل أساسي نوعان من التبريد :

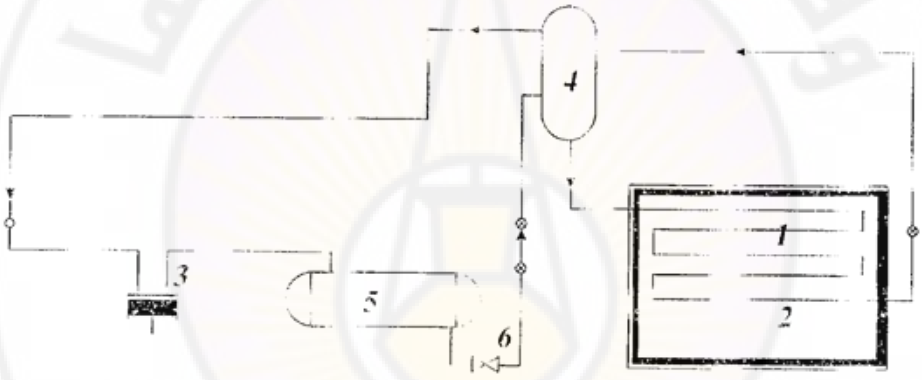
أ – مباشر باستخدام وسيط التبريد .

ب – بوسيط تبريد ثانوي (غير مباشر) .

فيما يتعلق بشروط منحنى الحرارة وتركيب أجهزة التبريد في الغرف يمكن أن نميز بين التبريد الأنبوبي (بالبطاريات)، والتبريد الهوائي ، والتبريد المختلط .

في التبريد المباشر (شكل 1-5) فإن وسيط التبريد السائل عند ضغط تقفيز p_0 ودرجة حرارة الغليان t_0 يدخل إلى بطارية التبريد المباشر 1 والمتوضعة في المكان المبرد 2. عند استقرار النظام فإن درجة حرارة غليان وسيط التبريد في البطاريات العاملة على الفريون تكون أقل من درجة حرارة الهواء المبرد بحدود ($^{\circ}C$ 10 ÷ 8) وفي البطاريات العاملة على الفريون تكون أقل بحدود ($^{\circ}C$ 20 : 15) .

من أجل الحفاظ على سحب جاف للضاغط 3 يسحب البخار من البطارية عبر فاصل السائل 4 في آلات التبريد المعملة على الأمونيا . أما في آلات التبريد العاملة على الفريون يتم تسخين البخار عند السحب بوساطة مبادل حراري . بخار وسيط التبريد يسحب من البطارية عبر فاصل السائل ٤ ويضغط في الضاغط ٣ من الضغط P_O إلى الضغط P_K ومن ثم يدفع إلى المكاثف 5 . سائل وسيط التبريد المتشكل في المكثف يخنق بوساطة صمام 6 ، عند ذلك ينخفض الضغط من P_K حتى P_O ودرجة الحرارة من t_K إلى t_O . وعبر فاصل السائل ٤ الذي يتم فيه فصل البخار المتشكل أثناء الخنق يدخل سائل وسيط التبريد إلى بطارية التبريد المباشر .



الشكل (٥-١) مخطط التبريد المباشر

التبريد المباشر أكثر اقتصادية للأسباب التالية :

١- عدم وجود وسط تبريد بيني (أي يكون ثمة فرق واحد في درجة الحرارة) ، لذلك يمكن الحصول على درجة حرارة معينة للهواء عند درجة حرارة غليان أعلى لوسيط التبريد ، وبالتالي تزداد الإنتاجية التبريدية للآلة وتقل مصاريف الطاقة الكهربائية .

٢- عدم الحاجة لمصاريف من الطاقة الكهربائية لتشغيل المضخات والمراوح .

٣- عدم وجود حمل إضافي على الضاغط (ناتج عن المضخات والمراوح) .

٤- عدم الحاجة لمصاريف تأسيسية إضافية ناتجة عن تجهيزات إضافية مثل المبخرات ، مضخات المحلول ، المراوح .

٥- المساحة التي يشغلها قسم الضواغط تكون أقل .

٦- قلة تعرض التجهيزات للصدأ .

إن ما يعيق استخدام نظام التبريد المباشر حتى الوقت الحاضر :

أ – أسباب الأمن الصناعي .

ب – مقدرة التخزين الصغيرة لبطاريات التبريد المباشر وهذا يؤدي إلى صعوبة في الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة دقيقة .

جـ – صعوبة الخدمة والعناية عند وجود عدد كبير من المبخرات في نظام التبريد.

د – الحاجة إلى كمية كبيرة من الأنابيب اللازمة لتصنيع البطاريات .

إن تطبيق الأنظمة الحديثة الموثوقة للتبريد المباشر في الصناعة أدى إلى حل مسألة الصعوبات التي تعترض هذا النظام من التبريد . في المخفضات الجديدة تصمم أنظمة تبريد ذات سعات أقل لوسيط التبريد وبالتالي تقل الخطورة في حال حدوث تسرب الأمونيا . كما أدخلت حماية مضمونة لعدم وصول وسيط التبريد السائل إلى أسطوانة الضاغط . تمت أيضا دراسة الحفاظ على درجة الحرارة في الأمكنة المبردة بشكل آلي وذلك بوساطة التشغيل الدوري لأجهزة التبريد وهذا يؤدي إلى الحفاظ بدقة على درجة حرارة الهواء ويسهل خدمة محطة التبريد . إن استخدام أجهزة تبريد ذات فعالية تبريدية عالية يقلل من كمية الأنابيب اللازمة لتصنيع البطاريات .

من المناسب استخدام نظام التبريد المباشر في جميع الحالات فيما عدا الحالات التي يشار فيها خلاف ذلك .

التبريد المحلولي شكل (2-5) يتم نتيجة التبادل الحراري بين الهواء والمحلول . يبرد المحلول في المبخر 1 بوساطة غليان وسيط التبريد ويدفع بمضخة دائمة 2 إلى بطاريات المحلول 3 الموضعة في الغرفة المبردة 4 حيث يسخن إلى (2 ÷ 3 °C) مبردا الهواء المحيط ، من ثم يعود إلى المبخر. من أجل إبعاد الهواء من النظام المحاملي ولضمان العمل الطبيعي لمضخة المحلول توصل الأجهزة بخزان تمدد 5 .

عند نظام العمل الأمثل يجب أن تكون درجة حرارة المحلول في المبخر أعلى بـ (5 °C) من درجة حرارة غليان وسيط التبريد ، ودرجة حرارة هواء الغرفة أعلى بـ (8 ÷ 10 °C) من درجة حرارة المحلول .

يبدأ العمل عند التبريد بالمحلول يكون لدينا دارتان مغلقتان : وسيط التبريد يمر عبر الضاغط 6 ، المكثف 7 ، صمام التنظيم 8 ومبخر المحلول 1 . يمر المحلول عبر مبخر المحلول وبطاريات المحلول 3 المتوضعة في الغرفة 4 ومضخة طاردة مركزية 2 .



Damascus University

التبريد المختلط يعني الجمع بين التبريد الكتيوبي والهوائي. إن ما يحدد اختيار التبريد المختلط وظيفة الغرفة وإجراءات المعالجة الحرارية والتكنولوجية فيها وأسلوب التقسيمي ونظام التبريد المستخدم في الغرف الأخرى . مثلاً التبريد المختلط يستخدم في الغرف المعدة لاستخدام التبريد المختلط لحفظ السلع المبردة تشغل بطاريات التبريد المباشر أما التبريد السلع تشغل مبردات الهواء .التبريد المختلط يمكن أن يستخدم في غرف المعالجة الحرارية للسلع .

إن اختيار هذا النوع أو ذاك من التبريد يمكن أن يحدد بالمقارنة الاقتصادية والفنية لأنظمة التبريد المختلفة مع مراعاة خصوصية تركيب واستثمار محطة التبريد لكل حالة . في الوقت الحاضر يفضل استخدام نظام التبريد المباشر نظرا لأنه أكثر اقتصادية ويخدم لفترة طويلة بالمقارنة مع نظام التبريد الذي يستخدم وسيط تبريد ثانوي .

عند التبريد بالبطاريات فإن الحرارة تنزع من المكان المبرد بوساطة بطارية جدارية أو سقيفة (الشكل 3-5)، وتكون حركة الهواء عند البطارية حركة طبيعية.



الشكل (٣ ٥): تنظيم التبريد بالبطاريات عند النزع الداخلي للأحمال الحرارية الخارجية (a,b)، عند النزع الخارجي للحرارة (c).

a – تبريد بوساطة بطارية سقيفية، b- تبريد ببطاريات جدارية، c - تبريد مع نزع خارجي للأحمال الحرارية الخارجية.

1 – أجهزة تبريد داخل الغرفة، 2 – أجهزة تبريد خارج الغرفة، 3 -فسحة هوائية، 4 -جدار يفصل الغرفة عن الفسحة الهوائية.

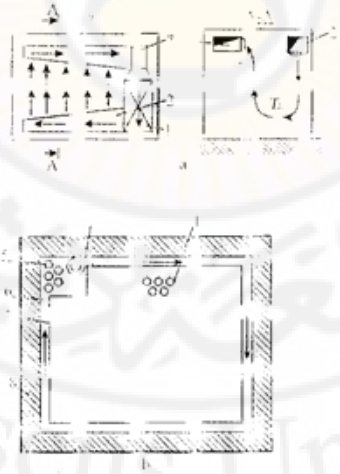
عند التبريد الهوائي فإن الحرارة تسحب بوساطة مبردات هوائية وبهذه الحالة تكون حركة الهواء في المكان المبرد حركة قسرية (الشكل 4-5).

يمكن أن نميز بين أنظمة تبريد يتم فيها نزع الحرارة المتدفقة عبر الجدران الخارجية بوساطة أجهزة تبريد داخلية (داخل الغرفة)، انظر الشكلين (5-3، a,b و 5-4,a) وأنظمة تبريد يتم فيها نزع التيارات الحرارية الخارجية بوساطة أجهزة تبريد خارجية (انظر الشكلين 5-3,c و 5-4,b).

في الحالة الاولى فإن أجهزة التبريد تتوضع ضمن الغرفة، أما في الحالة الثانية تتوضع داخل الغرفة أجهزة تبريد لسحب الحرارة الداخلية، أما اجهزة التبريد التي تقوم بسحب الحرارة الخارجية فتتوضع خارج الغرفة في فسحة معزولة عن الغرفة بحاجز غير نافذ للهواء.

عند تلامس الهواء مع سطح المنتج يسخن ويبرطب، وبملامسة الهواء لسطح أجهزة التبريد يبرد ويجف. وبفعل عملية التبادل الحراري والكتلي تتغير كثافة الهواء في الأجهزة المختلفة للغرفة، مما يسهل حركة الهواء (حمل طبيعي)، عند ذلك فإن سرعة حركة الهواء تصل إلى (0.05 - 0.15 m/s).

عند التبريد الهوائي فإن الهواء يتحرك بتأثير مروحة، وتصل سرعة الهواء عند المنتج إلى 10 m/s أو أكثر.



الشكل (4-5): أنظمة تبريد هوائية ذات نزع داخلي للأحمال الحرارية الخارجية (a) ونزع خارجي (b)
1 – أجهزة تبريد داخلية، 2 – مجرى دفع الهواء 3 – مجرى سحب الهواء، 4 – مروحة، 5- جهاز تبريد خارجي، 6 – فسحة هوائية، 7– جدار من البيتون المسلح مسبق الصنع، 8 - جدار خاجي معزول

عند التبريد المختلط تكون الغرفة مجهزة ببطاريات وبمبردات هواء، يستخدم نظام التبريد بالبطاريات في حالات مختلفة، إلا أنه في الأونة الأخيرة أخذ نظام التبريد الهوائي يحل محله، باستثناء غرف حفظ المنتجات المجمدة غير المغلفة. وان سبب ذلك هو وجود بعض المساوئ لنظام التبريد بالبطاريات يمكن تلخيصها بالتالي:

1 – التباين الكبير لرطوبة الهواء ودرجة حرارته في الغرفة، والذي يصل إلى (2-5°C) في نقاط الغرفة المختلفة، وذلك بسبب حركة الهواء الضعيفة.

2– التركيز غير الكافي للتبادل الحراري بين الهواء وسطح أجهزة التبريد يؤدي إلى ضرورة توضيع أجهزة تبريد في الغرفة تكون المساحة الإجمالية لسطوحها كبيرة، وهذا يؤدي إلى ازدياد كمية الأنابيب اللازمة لتصنيع البطاريات، وتصبح معقيا لوسيط التبريد كبيرة، ويصعب إزالة الجليد المتشكل عليها، عما تزداد معدلات تخفيض درجة الحرارة.

3– إن التركيز غير الكافي للتبادل الحراري بين الهواء والسطح، يؤدي إلى إبطاء عمليتي التبريد والتجميد، ونتيجة ذلك يحتاج إلى كميات كبيرة من [illegible]

لتحسين مؤشرات عملية التبريد بالبطاريات من [illegible] تصنيع معدنيات قرب الأنابيب، وعند تصنيع المبردة أو المجمدة (التعرف [illegible])

في نظمة تبريد الهواء تزود [illegible] في الغرفة فيتم تصريف الهواء في الغرفة فيتم نظمة يتم فيه توزيع الهواء بواسطة مجاري، وأنظمة أخرى يتم فيها توزيع الهواء دون مجاري.

في الأنظمة ذات المجاري يتوضع في الغرفة مجريان (الشكل 5-4,a) أو مجرى واحد (الشكل 5-5).يدفع الهواء المبرد في مبرد الهواء إلى مجاري دفع لها فتحات خاصة لخروج الهواء، أو فوهات مستطيلة أو دائرية المقطع. يخرج الهواء من الفتحات بسرعة (1-2m/s) ، أما الهواء الدافئ فيسحب إلى فتحات مجرى السحب. في أنظمة توزيع الهواء ذات المجرى الواحد لا يوجد مجرى للسحب، وبهذه الحالة يسحب الهواء الدافئ عبر فوهة دخول المروحة. في الوقت الحاضر نادرا ما يستخدم نظام توزيع الهواء ذو المجريين. يستخدم نظام توزيع الهواء وحيد المجرى لغرف التبريد والتجميد (الشكل 5-5,a) ولغرف الحفظ (الشكل 5-5,b).


3
2
1
1
2
1
2
a
b
c

جدول (5-1) : سرعة جريان السائل والغازات المتشكلة للمواد في الانابيب

المـــــادة	السرعة m/sec	
	من جهة السحب	من جهة الدفع
الأمونيا والزوبان البخاريين	10 ÷ 25	15 ÷ 30
الفريونات	8 ÷ 15	10 ÷ 18
ثاني أكسيد الكربون البخاري	5 ÷ 6	5 ÷ 6
وسائط التبريد السائلة	0.15 ÷ 0.50	0.5 ÷ 1.25
محلول الأمونيا – ماء	0.15 ÷ 0.25	0.70 ÷ 1.25
وسائط تبريد ثنائية وثلاثية	0.50 ÷ 1.00	0.8 ÷ 1.30
وسائط التبريد الناتجة عند الحركة الحرة	0.15 ÷ 0.50	0.15 ÷ 0.5

انخفاض الضغط في الأنبوب (ΔP) عند حركة السائل فيه هو عبارة عن مجموع انخفاض الضغط الناتج عن الاحتكاك على طول الأنبوب ΔP_l وكذلك انخفاض الضغط على المقاومات الموضعية ΔP_l أي أن :

$$\Delta P = \Delta P_l + \Delta P_l \qquad (5.1)$$

انخفاض الضغط المرتبط بالاحتكاك في الأنبوب :

$$\Delta P_l = \lambda \, (l / di) \, (\omega^2 / 2) \, \rho \qquad (5.2)$$

إذ: λ – معامل المقاومة الاحتكاكية على طول الأنبوب .

l – طول الأنبوب (m) .

ρ – كثافة المادة (kg/m^3) .

معامل الاحتكاك λ يتعلق بعدد رينولدز ودرجة الخشونة على السطح الداخلي للأنبوب .

بالنسبة للأنابيب الملساء عند الجريان المضطرب للسائل يمكن تطبيق علاقة بلازيوس التالية:

$$\lambda = 0.314 \, R_e^{-0.25}$$

تحسب بمعادلات بلازيوس والمعادلات المشابهة والتي يكون فيها معامل الاحتكاك متعلقاً بقطر الأنبوب (di) يصبح من الضروري تحديد قطر الأنبوب بطريقة التقريب المتتالي (والذي يمكن إنجازه بسرعة على الحاسوب) . ولكن في الكثير من الحالات العملية يمكن استخدام القيم التقريبية التالية لمعامل الاحتكاك λ :

للبخار المشبع الجاف وللبخار المحمص 0.025

تبخير الزجاج والمواد السائلة	$0.030 \div 0.035$
الماء ومحلول الملح	0.040
الفريون R_{12} مخلوط به زيت بنسبة ($8 \div 12\ \%$)	0.088

انخفاض الضغط في المقاومات الموضعية :

$$\Delta P_\zeta = \sum \zeta \rho \frac{\omega^2}{2} \qquad (5.3)$$

إذ: ζ – معامل المقاومة الموضعية .

تستخدم طريقة أخرى لحساب هذا الضياع وفيها يحول الضياع في المقاومات الموضعية إلى ضياع معادل ناتج عن الاحتكاك على طول الأنبوب . يمكن اعتبار أنه عند ضغط ديناميكي واحد $\rho \frac{\omega^2}{2}$ يكون ضياع الضغط في المقاومات الموضعية والتي تتصف بمعامل ζ مساويا لضياع الضغط نتيجة الاحتكاك في أنبوب مستقيم طوله L_e . إن طول مثل هذا الأنبوب يسمى الطول المكافئ أي أن :

$$\zeta \rho \frac{\omega^2}{2} = \lambda \frac{L_e}{d_i} \rho \frac{\omega^2}{2}$$

ومنه :

$$\zeta = \lambda \cdot \frac{L_e}{d_i}$$

وبالتالي نحصل على :

$$L_e = (\zeta / \lambda)\, d_i \qquad (5.4)$$

عند استخدام طريقة المكافئ للمقاومات الموضعية فإن انخفاض الضغط في الأنبوب يمكن أن يحسب فقط حسب العلاقة (5.2) وذلك بعد وضع القيمة الناتجة عن مجموع طول الأنبوب والطول المكافئ للمقاومات الموضعية مكان L في العلاقة ، أي :

$$\Delta P = \lambda [L + \Sigma L_e] \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2} \qquad (5.5)$$

بما أن الطول المكافئ يتناسب طردا مع قطر الأنبوب فإن التعبير عن L_e يمكن أن يكتب بالشكل :

$$L_e = A \cdot d_i$$

إن انخفاض الضغط المسموح والمأخوذ به عند حساب الأنابيب للمواد العاملة ووسائط التبريد يتعلق بوظيفة الأنبوب . في انبوب السحب بين المبخر والضاغط يسمح بانخفاض الضغط الذي يوافق انخفاض درجة حرارة تبخر التشبع بمقدار 1 °K للمحلات الأمونيا والفريون (أي انخفاض فعلي للاستطاعة التبريدية بمعدل 4 %) و 2 °K لمحلات الفريون .

المعدل المسموح به لانخفاض الضغط يتعلق بالتالي بدرجة حرارة التبخير ووسائط التبريد . فمثال في الجدول (2-5) ادرجت قيم انخفاض الضغط في أنابيب السحب للأمونيا ، البروبان والفريون R لعند انخفاض حدي مسموح لدرجة حرارة تبخر مختلفة .

جدول (2-5) : انخفاض الضغط المسموح (KP_a) في أنابيب السحب

وسيلة التبريد	درجة حرارة الغليان (°C)		
	-33	-28	-15
الأمونيا و البروبان	4.9	5.9	12.0
الفريون R12	7.5	8.8	13.7

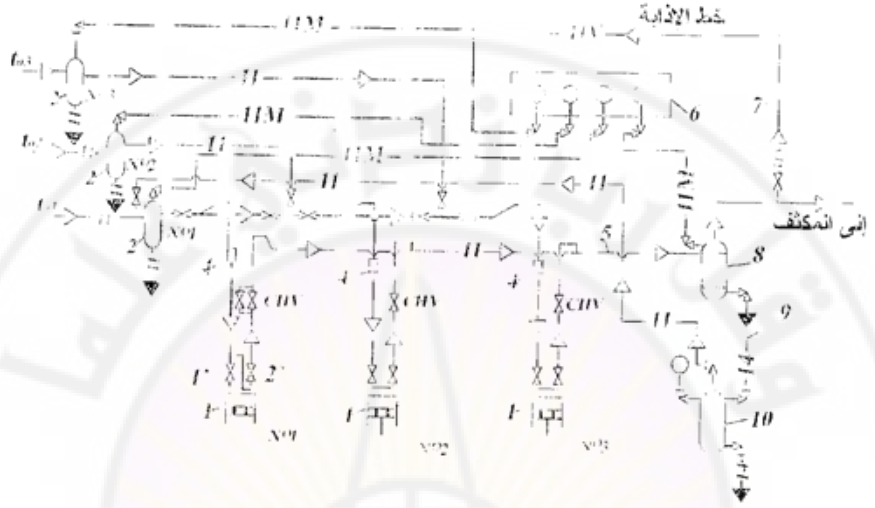
عندما تكون أجهزة التبريد المباشر بعيدة عن الضاغط وهذا يستلزم مثلاً في المعامل الكيميائية ، عند ذلك فإن مجمل انخفاض الضغط في خطوط الأنابيب بين الأقسام التبريدية والتكنولوجية وكذلك في أجهزة القسم التكنولوجي يجب أن لا يتجاوز 14.7 KPa .

في أنبوب الدفع بين الضاغط والمكثف يسمح بانخفاض ضغط يوافق تغير درجة حرارة التبخر المشبع بمقدار 0.5 °K (أي لازدياد الطاقة تقريبا الى 1 %) لمحلات الأمونيا والبروبان و 1 °K لمحلات الفريون .

وفقاً لهذا المعدل فإن انخفاض الضغط في أنابيب الدفع عند درجة حرارة تكاثف 25 °C وعند الارتفاع المسموح لدرجة حرارة تبخر التشبع يكون : للأمونيا حتى 5.7 KPa ، للفريون 17.6 KPa .

لحساب أقطار أنابيب السائل يمكن أن يؤخذ فقط معدل انخفاض الضغط. عادة تؤخذ القيم التالية المسموحة لانخفاض الضغط لأي من وسائط التبريد : في أجزاء الأنابيب بين المكثف والخزان الخطي 1.2 KPa وفي القسم بين الخزان الخطي ومحدلة التنظيم 21.5 KPa ، وبين صمام التنظيم والمبخر لا يحدد لأن الضغط في هذا الجزء يجب أن ينخفض حتى ضغط

وخاصة عند تصيانة لكي يسمح بتفريغ الضاغط الكامل للمبرد من وسيط التبريد عن طريق سحبه بواسطة ضاغط آخر .



الشكل (7-5)

مبرد فيضي بمرحلة واحدة لعدة درجات غير

11 – أنابيب 14 – زيت تشحيم

على أنابيب السحب وقبل المبخر أن يوجد لاقط للسوائل لـ مخصص لتنظيف بخار وسيط التبريد من الأوساخ الميكانيكية . في بعض التصاميم الضواغط يمكن أن يكون لاقط الأوساخ مباشرة في مجمع سحب الضاغط . عند الخروج من الضاغط يدفع بخار وسيط التبريد إلى المكثف ضمن خط مشترك للدفع 5 . إذا كانت خطوط الدفع والمجمعات العامة تقع أعلى من الضاغط (تغذية علوية) فإن توصيل أنابيب الدفع والسحب من الضاغط إلى الخطوط الرئيسة يكون من الأعلى وليس من الأسفل كما هو موضح بالشكل . وهذا يتم بسبب أن الضواغط يمكن ان لا تشغل جميعها بوقت واحد وبالتالي في الأنابيب التابعة للضاغط المتوقف يمكن أن يتجمع فيها وسيط التبريد السائل أو الزيت في حين كانت موصولة من الأسفل وهذا يؤدي إلى صدمة هيدروليكية .

على أنبوب الدفع لكل ضاغط يوجد صمام عدم رجوع ChV يعمل بشكل آلي مع تحويلة مفتوحة . إضافة لذلك فإن وجود سمامات عدم الرجوع يحمي غرفة الضواغط من تسرب المادة العاملة من الأجهزة ذات الضغط العالي وذلك عند حدوث خلل بالضاغط. لأن أجهزة

الضغط العالي تحتوي كمية كبيرة من وسيط التبريد فإن وجود صمام عدم الرجوع بين هذه العناصر يخفف من عواقب الحوادث . على الخط بين المتناغط والمكثف ، يوضع فاصل للزيت ٨ مخصص لتخليص وسيط التبريد من ازدياد زيت التزييت فيه . بعد فاصل الزيت يوصل بالخط أنبوب ٧ لنقل البخار إلى أجهزة التبريد المباشر (الناحية الغربية الجنوبية من سطحها .

عند أحد الضاغط يفصل وجود جسر لتعديل حريان وسيط التبريد بوساطة الصمامين 3 و 4 يسمح بسحب البخار من أنبوب الدفع والمكثف عند الصيانة . بعد أن أي فتح لأنابيب وأجهزة محملات التبريد يمكن فقط بعد تخفيض الضغط فيها حتى الضغط الجوي فقط فتجنب فقد المادة العاملة يجب بحث إمكانية إبعاد البخار من هذه العناصر عن طريق سحبه بالضاغط.

من اجل هذا يجب أن يكون صماما السحب 1 والدفع 2 مغلقان ويفتح بدلا منهما الصمامان 3 و 4. بما أن صمام عدم الرجوع يمرر البخار باتجاه واحد فقط لذا في حالة سحب البخار من المكثف توضع تحويلة عند صمام عدم الرجوع وبهذا الشكل في حالة الضرورة فإن البخار يسحب من المكثف بوساطة المتناغط N°1 عبر أنبوب الدفع ٥ ، الصمام 3 المتصل إلى الضاغط وعبر الصمام 4 يدفع الى أنبوب السحب .

هذا الإجراء يتم فقط في حال توقف جميع الضاغط عن العمل .

غالبا ما يوصل الخط ٧ (المخصص لإزالة الفرة الثلجية) بمجمع السحب وذلك يسمح بتخفيف الضغط في المكثف أو أنبوب الدفع عند الصيانة . تفريغ الأجهزة يمكن كذلك يتم بإدخال وسيط التبريد إلى أنبوب أو أنبوب .

طرح الزيت (عندما تتم الخدمة بشكل يدوي) مباشرة من اجهزة الضغط العالي غير مسموح لأن هذا قد يشكل خطورة على العامل . لذلك فإن الزيت يطرح دوريا من فاصل الزيت في محطات الأمونيا عبر الأنبوب ٦ إلى مجمع الزيت ١٠ الموصول بأنابيب السحب قبل فاصل السائل وهذا يسمح بتخفيف الضغط في مجمع الزيت إلى قيمة قريبة من الضغط الجوي (بعد اغلاق الصمام على الأنبوب ٩) ، واخراج الزيت عبر الصمام السفلي عند ضغط غير كبير (20 ÷ 30 KPa) والذي يراقب بمقياس ضغط على المجمع .

لمراقبة الضغط في الأنظمة التبخرية ذات درجات حرارة الغليان المختلفة توضع في غرفة الضغط ٦ مقاييس ضغط لكل درجة حرارة غليان موصلة بفواصل السائل أو المبخرات ، وبعضا مقياس ضغط يسمح بالتحكم بضغط التكثف موصل بالمكثف (وهذا ناقص) أو بفاصل

(3.3) دارة المكثف ودخطة التنظيم (عند مرحلة واحدة للتضخيط) :



Damascus University

٠٦ سائل وسيط التبريد المتدفق في مبادل الوعاء البيني يبرد فيه دون التلامس مع السائل الذي يغلي في الوعاء ٤ ، ويفضل هذا لا تلوث بالزيت المتنقل مع البخار القادم من الضاغط ذي الضغط المنخفض .

٠٧ السائل في المبادل الحلزوني يخضع لضغط المكثف أي تحت ضغط يكفي لرفعه إلى المبخرات وأجهزة التبريد الموضعة بالطوابق العليا أو في اسكنة بعيدة عن قسم الآلات .

في الوعاء البيني بدون مبادل يخضع سائل وسيط التبريد للضغط البيني وهذا الضغط يكون أحيانا (خاصة في فترة الشتاء) غير كاف ليوصل السائل إلى الأمكنة المرتفعة .

من الملائم وضع فاصل زيت ٣ بين مرحلة الضغط المنخفض والوعاء البيني وهذا يخلص الوعاء البيني من الزيت وكذلك يحمي سطح المبادل الحلزوني من التزيت وبالتالي التأثير على عملية التبادل الحراري عبره . يوضع فاصل زيت آخر ٩ من جهة الدفع.



شكل (٧-٥): دورة تبريد متعددة مراحل الضغط

11y – خط بخار منخفض الضغط ، 11y – خط بخار عالي الضغط

في المحطات المنجزة حسب الشكل قيد الدرس فإن سائل وسيط التبريد يبرد حتى درجتي حرارة مختلفتين : كامل كمية الوسيط السائل تبرد في مبرد مائي ومنه (أو مباشرة من الخزان الخطي) يدخل هذا السائل في الأنبوب ٨ وقسم منه يصل الى المجمع ٧ لمحطة التبريد الرئيسية إلى الأجهزة في الأمكنة التي تتطلب درجات حرارة عاليان عالية والتي تدخل في نظام الضغط وحيد المرحلة . القسم الآخر من السائل يمر عبر جهاز التبريد الي (D و SI) بشكل مباشر إلى الوعاء البيني من اجل التقليل من تحميص البخار الصادر من مرحلة الضغط المنخفض ٢، ولتبريد السائل المتدفق في المبادل الحلزوني .

الجزء الاكبر من السائل يتدفق ضمن المبادل الحلزوني ويبرد حتى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة غليان الايثيلين . والسبب لخفاض تيار السائل المتدفق بدرجتي حرارة مختلفتين الى وسيط التبريد بعد الحلزون وجود تلي مواضع مختلفة من الصمامات التفاضلية الزيادة على الأمكنة المبردة بنظام الانضغاط ذي المرحلتين .

يجب أن يكون عدد مجموعات محطة التنظيم مطابقا لعدد مراحل تبريد السائل .

المجمع ٧ مزود بصمام 1 من اجل شحن وإتمام تعبئة النظام بالمادة العاملة . كلا المجمعين مزود بجسر مع صمام 2 والذي يسمح في حالة الضرورة تأدية المجمع ١ بسائل ذي درجة حرارة أعلى وكذلك بصفة عامة ليسمح تعبئة نظام درجات الحرارة المنخفضة .

إن قواعد الأمن الصناعي تتطلب عند إيقاف المناطق مراحل الانضغاط ان ينخفض الضغط في الوعاء البيني حتى الضغط في نظام التبخر (من أجل تسهيل التشغيل اللاحق للانضغاط وتجنب حدوث الصدمات الهيدروليكية في مرحلة الانضغط العالي بسبب غليان السائل في الوعاء البيني عند تشغيل الانضغاط). ولذلك فإن صمامي التشغيل على التسلسل لمرحلتي الانضغاط المنخفض ٢ والمرتفع ٥ عند إيقاف عمل الانضغاط يجب أن تكون مغلقين . هذه المسائل في الشكل (10-5) يوضحها الصمامان المغناطيسيان S_2 و S_5 . عندما يشتغل فإن البخار من الوعاء البيني ومن جميع الخطوط حتى صمام عدم الرجوع ينتدفق إلى فاصل السائل ١ (عبر الأنبوب الذي قبله) . ومباشرة بعد التشغيل يغلق الصمامان .

5-4- مخططات دارة تغذية نظام التبخير بوسيط التبريد :

مخططات دارة تغذية وسيط التبريد يجب أن تضمن ما يلي :

١- حماية الضغط من تصدمات هيدروليكية لا بن تعمل غير تنظيمي لصمامة التمدد غالبا ما يكون ناتجا عن تأثير الصدمات الهيدروليكية والتي تظهر بشكل أساسي عند التغذية غير الصحيحة لوسيط التبريد لنظام التبخير ، عند التغذر المفاجئ للحمل الحراري في الأمكنة المبردة وعند غليان وسيط التبريد في الأجهزة بنتيجة الانخفاض المفاجئ للضغط فيها .

٢- التوزيع الصحيح لسائل وسيط التبريد على أجهزة التبريد للأمكنة المبردة بشكل يتوافق مع تغير الحمل الحراري فيها .

٣- امكانية الاحتفاظ بدرجة الحرارة المطلوبة في الأمكنة المبردة .

٤- إزالة تأثير الانخفاض الستاتيكي لعمود سائل التبريد .

٥- أن تكون سعة النظام لوسيط التبريد قابلة وذلك لأن وجود كميات كبيرة للوسيط في نظام الانجرير يزيد من المصاريف الاستثمارية الأولية بالإضافة إلى أنه يزيد من خطورة التشغيل مثل هذه المنظمة .

٦- أن تكون سعة الخزان الحراري كبيرة بما فيه الكفاية من حجوم أجهزة التبريد إلى وسيط التبريد الذي يغلي في داخل هذه الأجهزة .

٧- إمكانية إبعاد الزيت والاتساخ على السطوح الداخلية لأجهزة التبريد وكذلك الفروة الثلجية عن السطوح الخارجية بشكل سريع ومريح .

منظمات دورة تغذية أجهزة التبريد بوسط التبريد يمكن أن تصنف حسب طريقة التغذية وهذا يعني تحت تأثير أي ضغط يعطى وسط التبريد إلى أجهزة التبريد . يمكن تحديد ثلاث طرق للتغذية :

أ – تحت تأثير فرق ضغطي التكاثف والغليان .

ب– تحت تأثير ضغط عمود السائل .

جـ– تحت تأثير ضغط ناتج عن مضخة ميكانيكية .

الطريقتان الأولى والثانية تشكلان فئة المنظمات التي لا تحوي مضخات أما الطريقة الثالثة تشكل فئة المنظمات الحاوية على مضخات .

الطريقة الأولى طبيعية ومطبقة منذ زمن طويل . إن فرق ضغطي التكاثف والغليان موجود بشكل دائم وهذا الفرق في جميع الحالات يجب أن يفقد في التوصيلات المؤدية إلى المبخر . وهو كاف لتشغيل دارة التبريد إلى الأمام حتى في فصل الشتاء فإن ضغط التكاثف في محطات الأمونيا لا ينخفض تحت 0.6 Mpa . عندما يكون ضغط الغليان 0.1 MPa (-34 °C) فإن فرق الضغط يكون 0.5 MPa وهذا يعادل ارتفاع عمود سائل الأمونيا ($h = 0.5 \cdot 10^6 / 680 \times 9.8 \approx 75$ m) . وهذا يعد ضغطا كبيرا . الشكل (5-1) يوضح مخطط دارة تغذية سائل وسط التبريد بهذه الطريقة . يسيل من المكثف أو الخزان الخطي عبر الأنبوب ١ يصل إلى المجمع ٢ لمحطة التنظيم . بوساطة صمامات التنظيم RV يدفع وسيط التبريد حسب الكمية الضرورية عبر الأنبوب ٣ إلى الأجهزة

(المبخرات) ، والموضعة في الأمكنة المبردة . البخار المتشكل عند خلان وسط التبريد في أجهزة التبريد يتم سحبه في أنبوب مشترك ٥ ويصب باتجاه إلى الضاغط .

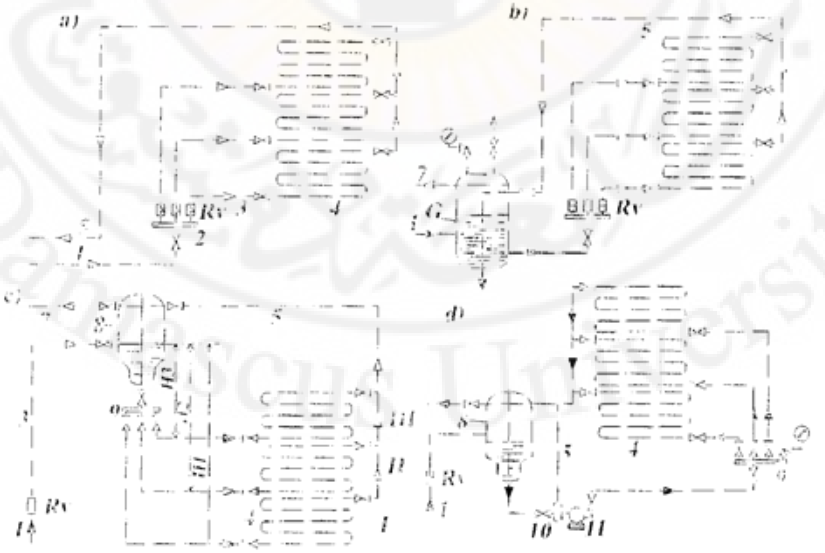
كمية وسيط التبريد kg/s التي يجب أن تدور في أجهزة التبريد لكل من الأمكنة المبردة تحدد من طريق قيمة الأحمال الحرارية Q_{0n} لتشكل أي :

$$G_n = \frac{Q_{0n}}{q_n}$$

إذ q_n -- الانتاجية التبريدية النوعية [J / kg] .

بما ان الحمل الحراري الفعلي في الأمكنة المبردة غير ثابت ويمكن أن يتغير تحت تأثير الاضطرابات الحرارية الخارجي فإن هذا يحتم تغير كمية وسيط التبريد المتممة بتغيير فتحة المساءات الموافقة RV . إن زيادة التسخين الثابت لبخار وسيط التبريد الخارج من الجهاز (عادة حتى $5 \div 15\ ^{\circ}K$) بغض النظر عن الحمل الحراري تعتبر دلالة إيجابية لنجاعة تسليم وسيط التبريد إلى أجهزة التبريد . وهذا دلالة على (الشرط الجاف) للضاغط وأحد شروط العمل غير الخطر .

ان عدد مرات دوران وسيط التبريد في نظام التبخير $n = G'_n/G_n$ يسمى الصفة العددية لمخطط التبريد المباشر . وهي عبارة عن نسبة كتلة وسيط التبريد G'_n المتدفقة إلى أجهزة التبريد kg/s إلى كتلة وسط التبريد المتبخر في الأجهزة G_n بالزمن نفسه.



شكل (11-5) طرق تغذية سائل وسيط التبريد

من هذا يتضح أن خصوصية الطريقة الأولى للتغذية تقتضي أن يكون n = 1 . هذا يدل فقط عند التحديد الدقيق لتغذية السائل ، لأنه عند تغير الحمل الحراري سوف تتغير وفقاً لذلك كمية البخار المتشكلة في مبخرة مبرد وبالتالي يوجب توافق تغذية وسيط التبريد أجهزة التبريد التي بتغير الحمل الحراري عاديا . وبشكل مقابل سوف يخرج من أجهزة التبريد إما بخار رطب أو بخار محمص جداً . الحالة الأولى يمكن أن تكون خطرة أما الثانية تخفض من فعالية جهاز التبريد .

إذا كان ضاغط آلة التبريد يعمل على مبخر واحد فإن صعوبة التكيف الدائم بفتح صمام التنظيم عند تغير الاحمال الحرارية يمكن تأويلها بسهولة . ولكن هذه الصعوبة تزداد عند عمل الضاغط على عدة من أجهزة التبريد . في حجرات تبريد أضخمة توجد تشعبات للغرف المبردة وبالتالي للتغذية يمكن أن توجد عشرات من صمامات التنظيم إذ يجب على العامل تغيير فتحة صمامات التنظيم بهدف تغيير تغذية المادة العادلة بما يتوافق مع تغير التدفق الحراري . إذا كان التحكم يتم آلياً فإن هذه العملية تبدو سهلة لأن التحكم يتضمن البحث عند الخروج من كل مبخر غير مسكن عملياً . إن العامل لا يعلم على أي من صمامات التنظيم يجب أن يؤثر لتغيير حالة البخار قبل الضاغط لعدم توافر المعلومات الضرورية لذلك . وحتى عند الاحتياج الأمثل البخار الداخل إلى الضاغط ليس من الممكن أن يكون الإجراء مختلفاً في كل مبخر . إذ يمكن ان يخرج وسيط التبريد من بعض المبخرات مشبعاً جداً عندما تكون هذه المبخرات مغذاة بكمية غير كافية من وسيط التبريد (n < 1) ، كما يخرج وسيط التبريد من مبخرات أخرى بشكل بخار رطب وذلك عندما تكون هذه المبخرات مزودة بكمية زائدة من وسيط التبريد (n > 1) . في الوقت نفسه فإن العامل لا يملك المعلومات عن ذلك وعلى أي من صمامات التنظيم يجب التأثير لتغيير تغذية سائل وسيط التبريد بالنجاح اللازم . إن سيئة المبخرات المغذاة بوسيط تبريد إذ يكون n = 1 هي انخفاض فعالية الانتقال الحراري داخل الأنابيب إلى وسيط التبريد الذي يكون بحالة غليان بسبب عدم كفاية سائل وسيط التبريد لغمر أنابيب داخل سطوح أجهزة التبريد . يبقى جزء من سطوح ملامسة مع البخار المحمص . لرفع شدة التبادل الحراري داخل الأنابيب من المناسب أن يعمل المبخر بشوط رطب أي يكون n > 1 عند ذلك يرتفع معامل النقل الحراري للمبخر بشكل ملحوظ. بهذا

الشكل لكي تعمل آلة التبريد بشكل غير ضار يجب تأمين إجراء جاف في الضاغط ورطب في المبخر .

مخططات دائرية مبخرات بسائل وسيط التبريد يمكن أن تصنف أيضا **حسب اتجاه جريان** السائل في سيال التبريد يمكن أن تكون الخطوطات بتغذية سائلة شكل (5-11.a) أو تغذية علوية وعندها يدخل وسيط التبريد إلى البطارية من الأعلى والبخار المتشكل يخرج من الأسفل.

تكون تلك التي أجرت تورينتسين برهنت أن معامل انتقال الحراري لمبردات الهواء بتغذية علوية وعند $n = 1$ أقل بمعدل 30 ÷ 50 % من مبردات الهواء بتغذية سفلية .

هناك مخطط للطريقة الأولى من التغذية شكل (5-11.b) يحوي على مبادل حراري (مركم) وهذا يسهل خدمة المحطات إلى حد ما . أحيانا يسمى (مخطط مع توضع سفلي لفاصل السائل)حيث يوضع عادة في قسم الآلة بداخل فاصل السائل (المبادل الحراري) 6 يوجد حلزون يصل إليه سائل وسيط التبريد عبر الأنبوب 1 من المبرد أو الخزان الخطي. يدخل إلى الوعاء أيضا عبر الأنبوب 5 بخار من المبخرات الحلزونية. سرعة البخار في الوعاء تنخفض حتى (0.4 m/s ÷ 0.5) لأن المقطع أكبر بكثير من قطر الأنبوب . وبذلك إذا كان البخار يحمل معه قطرات سائل فإن هذه القطرات تفقد سرعتها وتنفصل عن البخار وتتجمع في أسفل الوعاء . وعلى حساب غليان هذا السائل يتم تبريد سائل وسيط التبريد في الحلزون وبذلك يتم إجراء استرجاعي في المبادل الحراري . البخار الجاف يسحب من فاصل السائل بواسطة الضاغط عبر الأنبوب 7 .

بظهور المخططات التي تستخدم **الطريقة الثانية للتغذية** أصبح توزيع المادة العاملة إلى الغرف المبردة أقل صعوبة . الطريقة الثانية تعتمد على تأثير ضغط عمود السائل شكل (5-11.c) . فصل السائل هنا في هذه الحالة يتوضع فوق أعلى جهاز تبريد. مثل هذا المخطط يسمى (مخطط مع توضع علوي لفاصل السائل) . هنا سائل وسيط التبريد المخصص لتغذية جميع الغرف المبردة التي لها درجة حرارة غليان واحدة يتمدد في مسمار تنظيم واحد RV ويخرج بشكل بخار رطب ثم يدخل إلى فاصل السائل حيث يتم فصل السائل عن البخار : البخار المتشبع يذهب إلى الضاغط عبر الأنبوب 7 والسائل المتشبع عند درجة حرارة الغليان t_0 يدخل إلى أجهزة التبريد 4 عبر مجمع توزيعي 9 .

الضغط اللازم لحركة السائل يتشكل ليس فقط من ارتفاع عمود سائل المادة العاملة ، مثلاً بالغرفة الأخفض بل أيضا من فرق كثافة السائل في الأنابيب الذاهبة والبخار الراطب في الأنابيب الراجعة . ومن الممكن أن يخرق الضغط الأعلى بعض أو كل كمية الغاز من السائل ناشرا لتشكل ضغط أكبر . التوزيع الصحيح للسائل إلى الثرف يتم بمساعدة المسامات. حتى تدفق التوازي ، يفصل بعض غرف السائل في مصدر على أخرى من أجهزة التبريد ظهرت امكانية دوران السائل الممزوج بالبخار من المبخرات عند تغير الأحمال الحرارية وخلوه في فاصل سائل . هذا السائل يسمى بالسائل الثانوي ، إذ السائل الأولي هو السائل القادم إلى نظام التوزيع عبر RV .

دوران السائل الثانوي في أجهزة التبريد عندما $n > 1$ له مغذى كبير إذ تقل ضرورة تحديد تغذية كل من أجهزة التبريد ، باعتبار أن المادة العاملة تدفع إلى أجهزة التبريد بكمية زائدة . اذا فعند ازدياد الحمل الحراري تزداد كمية السائل المتبخرة على حساب تناقص الكمية الدائرة من السائل الثانوي . يتصرف أيضا السائل الحراري الداخلي الخارج من المبخرات بخار رطب وأحيانا محددا ، أي يكون هناك إجراء رطب في المبخر .

يتم تجميع السائل في فاصل السائل الذي يكون مشتركا في الأجهزة ذات الضغط والتبريد المباشرة اذ في هذه النظام تنظيم واحد لجميع أجهزة التبريد ويمكن الحكم على الفتحة الصحيحة لهذا النظام من خلال ذروة حرارة مبخر واحد إلى الضغط والتي تضمن إجراء جاف لفصل الضاغط . إلا أن هذا المنظم لا يعد حلاً للمشكلة . فنظام التنظيم يمكن أن يؤثر فقط في تغذية السائل الأولي من الدوران الخارجي ، في الوقت نفسه يبقى السائل الثانوي بدون تحكم ويمكن أن يصل إلى فاصل السائل قادما من المبخرات كمية كبيرة من السائل غير المتبخر فيمتلئ الوعاء ويؤدي إلى إجراء رطب لعمل الضاغط ويشكل أيضا خطورة الصدمة الهيدروليكية .

أنظمة تغذية أجهزة التبريد بوسيط التبريد بشكل أكبر يوضع فاصل السائل بمستوى (5 m ÷ 2) أعلى من أجهزة التبريد العلوية ، لذلك يجب أن يوضع بمقابل طابق ، طابقين على من المكان المبرد ، والتبريد الطابق الأخير يوضع في مكان يبنى خصيصا على سطح البناية . تغذية السائل تحت ضغط سائل هذا العمود من السائل له سيئة تكمن بتأثير الضغط الستاتيكي الإضافي لهذا العمود على درجة حرارة الغليان . عند درجات حرارة غليان $-40\,^{\circ}C$ وحتى $-50\,^{\circ}C$ فإن العمل حسب المخطط مع توضع علوي لفاصل السائل ليس فقط غير مناسب

درجة تطاير مناسبة للتشغيل °C				
-70	-50	-40	-30	
				R

Damascus University

Damascus University

في الطريقة الثالثة للتغذية (نظام الشكل 5-13 ب) يتم سحب السائل من المفصل ٥ بالمضخة ١٠ إلى المجمع التوزيعي ٩ ومنه يتجه إلى بوابة التمدد لكل مبخر . في هذه الحالة يمكن أن يتوضع فاصل السائل في قسم الأرفف من الأبرد أو تحت المضخة تحت مستوى سائل وسيط التبريد في فاصل السائل بما لا يقل عن 1,5 : 1,8 m لتجنب تشكل البخار في الأنبوب والمضخة الذي يمكن أن يسبب التكيف وانقطاع عمل المضخة. للتقليل من إمكانية وصول البخار إلى المضخة يوضع قبلها فاصل بخار ١٠ ويوصل بأنبوب بخاري ٥ منفصل بفاصل السائل. في مضخات الأمونيا الحديثة يعد البخار المتشكل من خلال جسم المضخة (أنظر الشكلين 18-5 و19-5) .

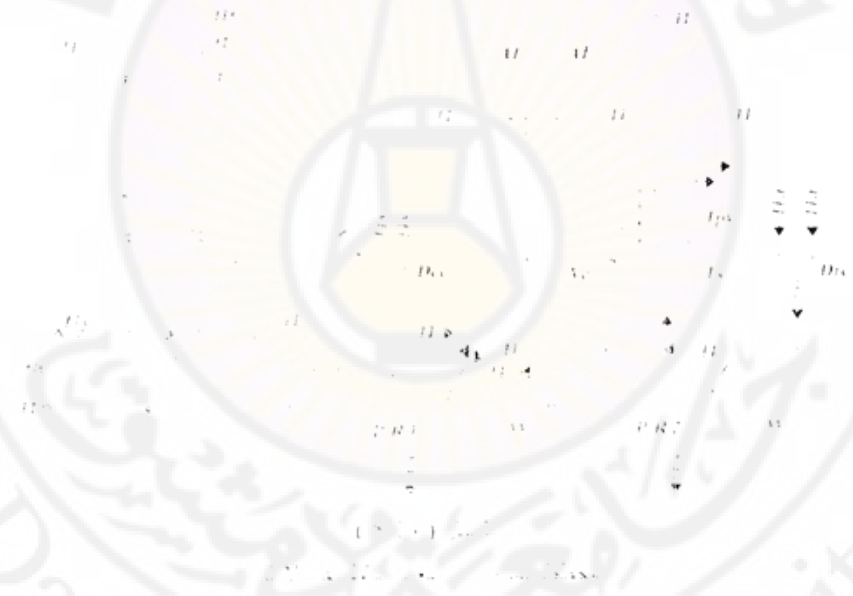
المخطط ذو المضخة له أفضليات كبيرة بالمقارنة مع الطريقة الثانية للتغذية. استخدام المضخة يقوي دوران السائل إذ يتم اختيار إنتاجية المضخة ، يكون عدد مرات الدوران بأسوأ الحالات n = 5 ÷ 6 في فترة الحمل التصميمي . وهذا يزيد من مفعول التحكم الذاتي للتغذية ويخلص عملياً من ضرورة التدخل بتوزيع السائل إلى الأسطح المبردة ، أيضاً يحسن النقل الحراري في أجهزة التبريد . عند مثل هذا الدوران يمكن استعمال أجهزة التبريد عند تكثير المفاجئ المحسن الحرارية وهذا يشكل تقريباً مثالي لعمل المبخر . فاصل السائل يمكن أن يوضع بأي مكان مريح خاصة في حجرة الآلات تقريباً بجوار عضو الضغط يسهل خدمة المعدات ويقلل من طول خطوط أنابيب البخار .

من ميزات مخططات التبريد المباشر تأثير الاقتراب لحفظ درجة الحرارة في الأمكنة المبردة بدقة. في الأنظمة المتشعبة عند وجود عدة أمكنة مبردة فإن حل هذه المسألة يكون أبسط وذلك بتغير سطح أجهزة التبريد. نظراً لكبر عطالة الأمكنة المبردة من المناسب فصل أجهزة التبريد عن العمل عند الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. بغض النظر فيما إذا كان هذا يتم بشكل آلي أو يدوي فإن فصل أجهز التبريد يمكن أن يتم بالطرق التالية:

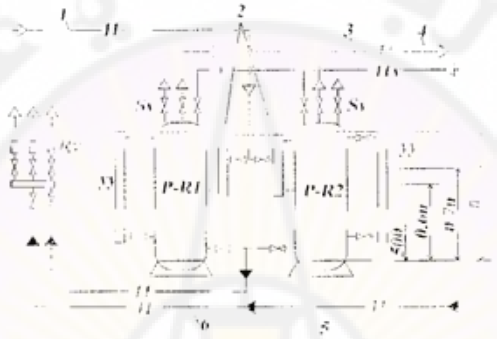
أ) في الأجهزة ذات التغذية السفلية لوسيط التبريد :

بإيقاف تغذية السائل . هذه الطريقة تتميز بالعطالة وهذا يسبب انحرافات كبيرة لدرجة الحرارة، لأنه بعد إغلاق صمام السائل 1 (شكل 5-13،a) يبقى في جهاز التبريد كمية من السائل التي تستمر بالغليان وبالتالي يستمر تبريد المكان بعض الوقت ولكن بفعالية أقل .





عندما السماح على الخط ٥ مغلق . دفع السائل يتم بواسطة البخار القادم عبر الانبوب ٢ من جهة الدفع . عند امتلاء الخزان حتى المستوى 60 % من ارتفاعه h تعطى إشارة وعلى أساسها يتم تغيير وضع فتحة المصمامات وتبديل وظيفة الخزان بدوريا . يتم رفع المستوى في الخزان حتى 70 % من الارتفاع h يجب ان يتوقف الضاغط آليا . دفع السائل من الوعاء يتوقف عند انخفاض مستوى السائل في الوعاء حتى ارتفاع 0.5 m من قعر الوعاء . يبقى الشكل على وجود عاملين لتأمين حماية مستمرة للمحطة من المصمامات الهيدروليكية .



الشكل (15-8) : مخطط مع خزانات حماية عمودية

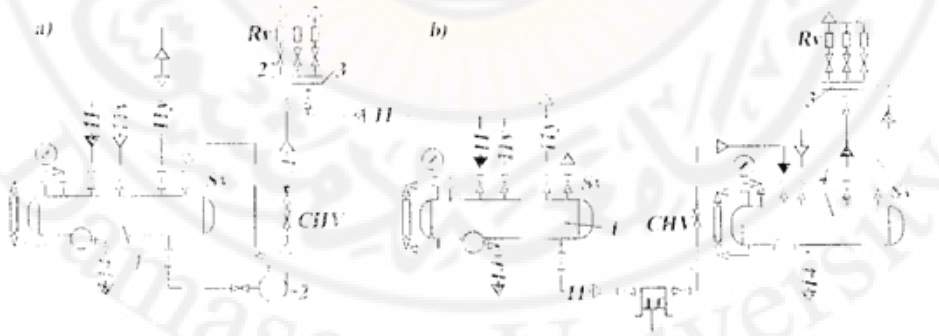
خزانات الحماية (فواصل السائل) تكون مفيدة في الأنظمة المتشعبة أما في المحطات الصغيرة عندما يكون عدد الغرف المبردة صغيرا فيمكن غياب هذه الخزانات . غياب دوران السائل في المحطات الطريقة الأولى للتغذية يقلل من فعالية العمل لأجهزة التبريد وخاصة عند التغذية العلوية في محطات التبريد الضخمة لا يفضل وجود مثل هذا الانخفاض للفعالية . في هذه الحالة تفضل المخططات مع تنظيم دوران السائل ، أي عدد مرات الدوران n>1 .

تستخدم المحطات الطريقة الثانية للتغذية ، أي بتوضع عنوي لفاصل السائل يساعد على دوران البسيط في أجهزة التبريد ، إلا أن المخططات الأكثر ملائمة هي المخططات التي يكون فيها فاصل السائل يخدم فقط من اثنين إلى أربعة أمكنة مبردة متشابهة (مبخرات) موضعة على رفع واحد أو بمقارب مع الأنبوبية المفاصل السائل بعيدة المحطة عن قعر جهاز التبريد (المبخر) وتأمين إجراء رطب فيه .

عند استخدام بطاريات ذات أنابيب متعرجة ٣ (غليان وسيط التبريد داخل الأنابيب) فان منظم المستوى ٥ يحفظ المستوى في فاصل السائل ٤ (الشكل 16-5) .

في الشكل (a ،5-17) يؤخذ السائل من خزان الحماية بواسطة المضخة 3 ويسلم إلى مجمع المحطة التوزيعية ٣ . بعد امتلاء خزان الحماية ١ تشغل المضخة ٣ ويفتح الصمام 2 ويغلق الصمام 1 الذي عبره جرت التغذية بالسائل من الخزان الخطي أو المكثف . من المناسب اكثر إبعاد السائل من خزان الحماية مباشرة إلى الخزان الخطي ٤ شكل (5-15,b) ولذا يجب أن يكون دائما حجم فارغ لاستقبال السائل المضخوخ وهذا يساعد على تفريغ خزان الحماية بسرعة . استطاعة المضخة يجب أن تكون (1 ÷ 3 m³/h) من اجل محطة تبريد استطاعتها (1 ÷ 5 MW) . إن سيئة هذه الطريقة هي ضرورة التغلب على فرق الضغط الكبير من أجل تسليم السائل بواسطة المضخة إلى الخزان ٤ الذي يقع تحت ضغط التكاثف . من أجل ذلك تستخدم المضخات المكبسية أو الطاردة المركزية ذات الدرجات المتعددة لأن حجمها اصغر بكثير من المكبسية .

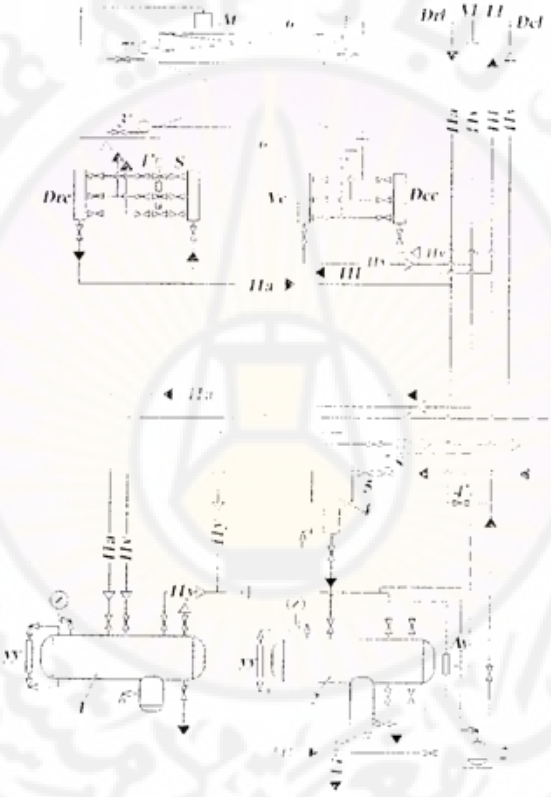
المخططات دون مضخات بسيطة نسبيا وموثوقة بشكل كاف خصوصا للمحطات الصغيرة والمتوسطة . في المحطات الضخمة مع عدد كبير من الغرف المبردة فإن استخدام مخططات بدون مضخات يتطلب عددا كبيراً من أجهزة التنظيم الآلية لذلك في أغلب الحالات فإن المخططات مع مضخات تبدو أكثر مناسبة لمثل هذه المحطات الضخمة . المخططات مع مضخات يمكن أن تستخدم إما خزانات دورانية أفقية مع فاصل سائل دائما عمودية أو مائلة والتي تجمع بين وظيفتي الخزان الدوراني وفاصل السائل .



الشكل (5-17) : ابعاد السائل من خزان التصريف

الشكل (5-18) يوضح مخطط بتغذية سفلية وفيه تستخدم خزانات دورانية أفقية أما على الشكل (5-19) فنرى مخططا بتغذية علوية مع خزانات دورانية عمودية المستوى الطبيعي للسائل في الخزان الدوراني يمكن الحفاظ عليه بواسطة منظم عوامة للضغط المنخفض وأي

نوع (يثبت عليه المستوي Dy و تحمله المغناطيسي S) ولكن إذا استخدم لحرس الشورتي مع فاصل السائل : (شكل 18-5) فإنه يتم تسليم السائل عبر صمام التنظيم ليس إلى الخزان بل إلى فاصل السائل (عبر الصمامين s و 5). يتم ذلك من أجل تسهيل إبعاد البخار المتشكل عند الخنق لأنه في الخزان الدوراني يمكن أن تتشكل وسادة تعيق السيلان الحر من الفاصل إلى الخزان .



الشكل (18-5) محطة مع مضخة بتغذية سفلية

DrL- خط تصريف ، VL- خط البخار الراجع

LL- خط السائل ، DeL- خط الإلاية

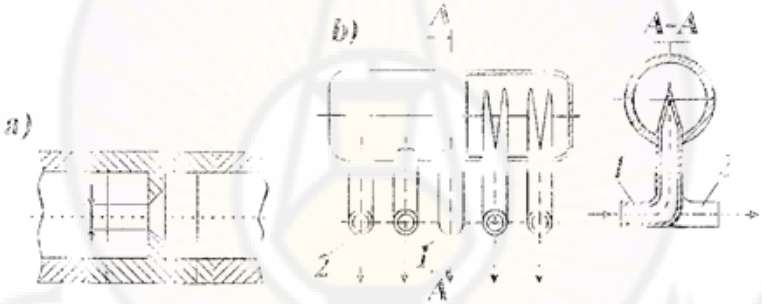
في الأونة الأخيرة باتت تستخدم صواعد للسائل عند جميع أنواع الخزانات الدورانية والتي تسمح بتخفيض الملء العامل للخزان وبنفس الوقت تشكل مسنداً مأمونا قبل المضخة وبالتالي تجنب حدوث التكيف في المضخة . الصواعد تنجز بارتفاع (1.5 ÷ 2.5 m) من أنابيب بقطر داخلي (250 ÷ 300 mm) . إذ حدث تكيف بعد كل ذلك يطرح السائل إلى الخزان



زيادة قطر التضيق يمكن وضع تضيقين . التضيق يوضع بين فلدبتين أو بشكل مباشرة في الانبوب كما في الشكل (5-20،a) .

في مخططات التغذية العلوية لا يزال بشكل كاف عدد تجانس توزيع السائل إلى الغرف المبردة . في كل غرفة مبردة يمكن أن توجد أجهزة تبريد مؤلفة من عدة مقاطع متوازية مغذاة البطاريات الأفقية أو ... بدلات الهواء متعددة المقاطع . في الحالة عندما يكون الحمل الحراري متساويا لكل المقاطع ففي هذه الأجهزة يجب تأمين توزيع متجانس إلى كل المقاطع بسرعة .

على الأغلب تترتب قيم انخفاض ضغط كبيرة ومتساوية على الطريق إلى المقطع (40 ... 50 kPa) وتتم بشكل أساسي في التضيقات (المحطات الصغيرة في الأنابيب الشعرية) .



شكل (5-20) : تضيق في مدخل سائل نظام تبريد

a تضيق . b مجمع توزيع السائل النظام ذي المضخة

أحيانا تستخدم طرق اخرى كما في المخطط شكل (5-19) إذ توزيع السائل إلى مقاطع أجهزة التبريد يتم بمساعدة مجمعات توزيعية أفقية ؛ عند البطاريات السقفية والحائطية ، إحدى هذه المجمعات موضحة على الشكل (5-20،b) . تلحم على المجمع المواسير ٢ بعدد المقاطع المتوازية في الجهاز ، كل من هذه المواسير ذات تقويرات دقيقة . بما أن المجمع يوضع بشكل أفقي تماما فعند دخول السائل إليه عبر الماسورة ١ فإن مستوى السائل في المجمع يرتفع تدريجيا ويصل السائل إلى كل من المواسير ٢ عبر الثقوب الدقيقة الصغيرة وبشكل متساو لكل مقطع ولا يصب مباشرة في واحدة من المواسير الأقرب كما هو الحال اذا كانت المواسير ٢ ذات حافة أفقية (كما للماسورة ١) . عند ارتفاع مستوى السائل في المجمع تزداد مساحة

امتلاء القناوين في كل مأسورة بشكل متساو تماماً وبنتيجة ذلك تنساب كمية متساوية من السائل في كل مأسورة .

في المخططات الحديثة تستخدم الحركة المتداخلة للبخار والسائل المتبقي عبر خط الرجوع VI وهذا يسهل مد الأنابيب . ولكن حركة الوسيط ذي الطورين يسبب زيادة محسوسة في المقاومة الهيدروليكية لهذا النظام بالمقارنة مع المقاومة الناتجة عن حركة مادة متجانسة . وفيما يتعلق بما يلي :

قسم من مقطع الأنبوب يشغل بالسائل المتدفق ولذا سرعة حركة البخار تغدو أكبر مما لو كان البخار وحده يجري في أنبوب له نفس القطر .

وجود احتكاك بين البخار والسائل على السطح الفاصل بين الطورين لأن سرعة حركة السائل والبخار غير متساوية .

تعتمد توكل ومرتينيلي (LOCKHART & MARTINELLI) في نسبة تقدير انخفاض الضغط في الأنبوب عند حركة الخليط ذي الطورين ΔP_{mix} إلى انخفاض الضغط في الأنبوب نفسه عند جريان البخار فيه ΔP_V . تعدّ تابعاً لبعض القيم X والتي تتعلق بطبيعة جريان طورين وتتفق لكلي كل من الطورين (G kg/sec) والخصائص الفيزيائية الحرارية مثل الحجم النوعي ν واللزوجة الديناميكية للسائل والبخار μ في حالة الإشباع . لذلك فإن :

$$\Delta P_{mix} / \Delta P_V = f(X)$$

قيمة X عند الجريان المضطرب لكلا الطورين أي عند $R_e > 2000$ توجد من العلاقة :

$$X^2 = (G_L / G_V)^{1.8} . (\nu_L / \nu_V) . (\mu_L / \mu_V)^{0.2}$$

L تشير إلى السائل ، V تشير إلى البخار .

لأجل خط الرجوع في المخططات ذات المنشآت فإن النسبة (G_L / G_V) يمكن أن تصاغ بإدخال قيمة عدد مرات الدوران n .

وإن :

$$G_V = G$$

وأن :

$$G_L = G_a - G_b = n (G_V - G_V = G_V (n - 1)$$

عندئذ :

$$G_L / G_V = n - 1$$

وبذلك عند الجريان المضطرب :

$$X^2 = (n - 1)^{1.8} . (\nu_L / \nu_V) . (\mu_L / \mu_V)^{0.2}$$

فيما يلي نورد قيم $\Delta P_{mix} / \Delta P_V$ عند قيم مختلفة لـ X :

X	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
$\Delta P_{mix} / \Delta P_v$	1.54	1.88	2.38	2.92	3.42	4.98	8.01	12.48	17.62

الصيغة التقريبية لتحديد قطر الأنبوب d_{min} الذي يتدفق فيه مزيج من طورين وضعها العالم غوتكوفسكي (GOOTKOVSKI) .

$$d_{min} = d_v / (\Delta P_{mix} / \Delta P_v)^{1/5} \quad (5-7)$$

إذ : d_v – قطر الأنبوب المحدد بالعلاقة (5-2) بافتراض أن في الأنبوب يتدفق فقط بخار بمعدل G_v .

سابقاً في المخططات ذات التغذية عند الإذابة فإن السائل والزيت كانا يطرحان من البطاريات إلى الخزان الدوراني ، ولذلك في المخططات بتغذية علوية لم يدرس خط تصريف خاص Drl . ولكن مسألة طرح الزيت من الخزان بدت صعبة لأن مستوى السائل فيه كان يتغير وبالتالي الزيت لم يحصل .

علاوة على ذلك عند درجات الحرارة المنخفضة فإن الزيت في الخزان يصبح كثيفاً ونتيجة لذلك فعند طرح الزيت يجب فصل الخزان الدوراني عن العمل بل وحتى تسخينه.

لهذا السبب كان من الضروري دراسة وضع خزان تصريف مستقل ، للإذابة وكسح البطاريات (انظر الشكلين 18-5 ، 19-5) ، وللمخططات بتغذية علوية يوجد مجمعات تصريف إضافية DrC وخط تصريف Del. بعد الإذابة وطرح الزيت من خزان التصريف يمكن ضخ وسيط التبريد السائل بواسطة المضخة 3 إلى الخزان الدوراني (باستخدام الأنبوب مع الصمام 4) . لتسخين خليط الأمونيا – زيت يوصل خط بخار عالي الضغط إلى خزان التصريف .

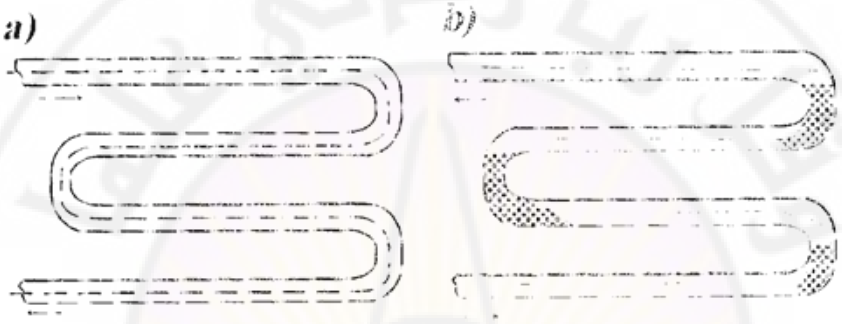
من الطبيعي أن يطرح سؤال أيّ من المخططات ذات المضخات يفضل : بالتغذية السفلية أم العلوية ؟.

المعطيات التجريبية تبين أنه عند استخدام أجهزة التبريد المصنوعة من أنابيب أفقية متعرجة فإن الامتلاء الوسطي للأنابيب بوسيط التبريد في بطاريات كلا المخططين عملياً متساوٍ (عند عدد مرات الدوران $n = 6 \div 20$ فإن الامتلاء الوسطي للأنابيب بسائل وسيط التبريد $20 \div 40\%$) ، عند ذلك نلاحظ حركة منفصلة لتيار ذي طورين . في البطاريات ذات التغذية العلوية فإن السائل ينساب من الأنبوب الأعلى إلى الأنبوب الذي يقع تحته

(الشكل 5-21.a) وتكون حركة فقاعات صاعدة في البطاريات ذات التغذية السفلية فإن حركة السائل تكون بطيئة . في البداية يلاحظ تشكل موجات صغيرة على السطح والبخار يمر بسهولة إلى الأنابيب العلوية عبر الأكواع. السائل يدفع بمعادلة البخار نحو الأكواع بالتدريج وتتجمع فيما بعدها وبالنهاية يغمر مدارج البخار . بما أن تشكل البخار مستمر فإن ضغط البخار المغلق في الأنبوب يزداد الى المقدار الذي يبدأ عنده البخار بدفع السائل إلى الأنابيب المتوضعة بالأعلى (الشكل 5-21.b) بعد ذلك يتكرر الدورة . بسبب تبخر البخار فإن المكونة الكيميائية لبطاريات التغذية السفلية تكون أكثر بخراً (2 ÷ 3) مرات منها في التغذية العلوية . عندما ان طريقة التبخر والإمداد الوسطي لبطاريات كلتا طريقتي التغذية متقاربان فلا يمكن وجود فرق ملحوظ بفعالية الانتقال الحراري . حسب معطيات معهد ليننغراد للصناعات التبريدية فإن معامل النقل الحراري لبطاريات التغذية السفلية أكبر بمقدار 5 % تقريباً منه لبطاريات التغذية العلوية وذلك بسبب النقل الأفضل للسطح الداخلي للأنبوب. امتلاء الأنابيب في البطاريات التبريدية ذات الأنابيب الأفقية أو المعوجة أكبر بكثير ، وبشكل وسطي حوالي (70 %) . إن المزية الهامة لنظم التغذية العلوية هي صغر العطالة الحرارية عند تنظيم درجة حرارة الغرفة المبردة ، لأنه عند تعطل البطارية عن العمل كمبادل وسيط التبريد يجب أن ينصب من البطاريات إلى الخزان الدوراني . كذلك عند التغذية العلوية يغسل الزيت والأوساخ بتيار سائل وسيط التبريد السائل . ولكن لتحقيق هذه المزية يجب تركيب أنابيب البطاريات بميل بسيط (1.5 % ÷ 1.0) بجهة حركة السائل . بما أن تركيب أجهزة التبريد قد لا يكون دقيقاً دائما ولقلة أماكنة تثبيت أنابيب البطاريات فإن هذه الأنابيب قد تكون بوضع أفقي أو حتى بميل معاكس . هذا يؤدي إلى عدم انسياب السائل والزيت من البطاريات عند توقف الأجهزة عن العمل بل يبقى في جزء كبير منها . الدراسة التي أجريت في معهد ليننغراد للصناعات التبريدية توضح أنه عند درجات حرارة الغليان المنخفضة فإن الزيت لا يغسل بشكل كامل ويشكل طبقة على السطح الداخلي للأنابيب . في نظام التغذية العلوية يجب أن تكون هناك مراقبة شديدة للميل الثابت للخط من البطاريات إلى الخزان الدوراني ، طالما أن الجريان بهذا الخط ذاتي . بغض النظر عن بعض الصعوبات في انجاز مخططات التغذية العلوية سجلت اتجاهات لأفضليتها استخدامها .

الحماية المأمونة من الصدمات الهيدروليكية تعد المؤشر المحسوس الذي يصف عمل المخطط . عند مخطيط التركيبات التبريدية يجب أن نتصور ما يمكن أن يحدث عند إيقاف المضخة . في

مخلطات التغذية العلوية عند إيقاف الدوران كل المادة العاملة يجب أن تنساب من أجهزة التبريد وأنابيب التصريف إلى الخزان الدوراني . إذا كانت سعة الأخير غير كافية فيمكن أن يمتلئ وبالإضافة له يمتلئ فاصل السائل . وهكذا عند تشغيل الضاغط تحدث صدمة هيدروليكية . إن هذا أقل خطورة في مخطط التغذية السفلية، لأنه عند إيقاف المضخة يجب ان يبقى السائل غير المبخر في الأجهزة التبريدية .



الشكل (21-5) : حركة وسيط التبريد في أجهزة التبريد

ولكن إذا استمرت الضواغط بالعمل فيمكن أن يحدث طرح للسائل من البطاريات الأمر الذي يؤدي إلى امتلاء الخزان الدوراني . عندما تكون سعة الخزان صغيرة تتشكل صعوبة في جمع السائل من أجهزة التبريد في وقت الصيانة ويمكن أن تظهر حالات خطرة . إن الحماية المأمونة من الصدمات الهيدروليكية هي استخدام خزان دوراني بحجم كاف .

فيما يلي نورد طريقة تحديد الحجم الضروري للخزانات ذات المهام المختلفة :

حجم الخزانات ذات الأشكال المختلفة V_R يعطى بالعلاقة :

$$V_R = (V_0 + V_p) K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \qquad (5.8)$$

إذ :

V_0 – الحجم الداخلي لأنابيب البطاريات عند درجة حرارة الغليان المعطاة.

V_p – الحجم الداخلي لأنابيب مبردات الهواء عند درجة حرارة التعليق المعطاة.

$K_1 \div K_6$: معاملات تراعي كل مما يلي :

K_1 – الامتلاء الوسطي لأنابيب أجهزة التبريد بسائل وسيط التبريد .

K_0 – كمية سائل وسيط التبريد المفقود عند التغذية السفلية ، والمنسابة من أجهزة التبريد عند التغذية العلوية .

K_2 – سعة المرشحات والأنابيب ، عادة $K_2 = 1.1$

K_4 – الامتلاء العامل للخزان .

K_5 – الامتلاء المسموح للخزان .

K_6 – احتياط ، عادة 1.2

قواعد الأمن الصناعي تسمح بـ ... الخزانات الأفقية بسائل وسيط التبريد حتى 80 % من الحجم والعمودية حتى 70 % ، ولذلك للخزانات الأفقية $K_5 = 1.25$ (مع الأخذ بالحسبان أن $V_L = 0.8\ V_R$ وبالتالي $V_R = \frac{V_L}{0.8} = 1.25\ V_L$) ، للخزانات العمودية $K_5 = \frac{1}{0.7} = 1.45$

عند التغذية السفلية يصبح بأن يكون $K_3 = 0.3$ وعند التغذية العلوية $K_3 = 1$ ، لأنه عند توقف عمل سائل وسيط ... عند توقف المضخة في المخططات ذات المسخنات) كل السائل يجب أن ينساب من أجهزة التبريد. الامتلاء الوسطي لأجهزة التبريد عند التغذية السفلية يجب أن يشكل 70% من الحجم الهندسي للأنابيب، أي أن $K_1 = 0.7$، وعند التغذية العلوية 30 % من حجم البطاريات و 50 % من حجم مبردات الهواء أي أن :

$$K_{1a} = 0.50 \quad , \quad K_{1b} = 0.30$$

نفترض أن خزانات الحماية تستخدم في المخططات التي لا تحوي مسخنات ، وفي هذه الحالة في معدلات الأمونيا تساوي فقط التغذية السفلية لذا فإن حجم خزان الحماية الأفقي عند $K_4 = 1.05$ يكون :

$$V_{P.R} = (V_b + V_a)\ 0.7 \cdot 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.05 \cdot 1.25 \cdot 1.2 = (V_b + V_a) \cdot 0.35$$

لخزانات الحماية العمودية يعتبر $K_4 = 1.20$ وعند ذلك يكون حجم الخزان :

$$V_{P.R} = (V_b + V_a)\ 0.7 \cdot 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.20 \cdot 1.45 \cdot 1.2 = (V_b + V_a) \cdot 0.50$$

لتحديد سعة الخزان الدوراني $V_{C.R}$ يجري تدقيق العامل K_3 في العلاقة (5.8) بأن يحسب بشكل مستقل حجم السائل الذي يمكن أن يتدفق في أنبوب دفع المضخة V_{PL} وفي أنبوب السحب V_{SL}، عند ذلك نعتبر أنه يملأ بالسائل بمعدل 30 % من الحجم ، عندئذ:

$$V_{C.R} \geq [V_{PL} + (V_b K_{1b} + V_a K_{1a}) K_2 + V_{SL} \cdot 0.3] K_1 \cdot K_5 \cdot K_6 \qquad (5.9)$$

لتكبير المرجوة ضمن القوسين المكبرين يعبر عن حجم السائل V_L الذي يطرح في الخزان الدوراني .

قيم العاملين K_4 و K_5 تتعلق بنوع وشكل الخزان . في الخزان الأفقي يؤخذ الامتلاء العامل مساوياً لـ 20 % من سعة الخزان V_{CR} (الشكل 5-22) بالتالي يبقى معدل 60 % من حجم الخزان لاستقبال السائل من الأنظمة (المنطقة المظللة على الرسم) . بما أن 80 % من حجم الخزان يملأ بالسائل فإن العاملين $K_4 = 0.80 / 0.60 = 1.3$. بالنسبة للتغذية السفلية :

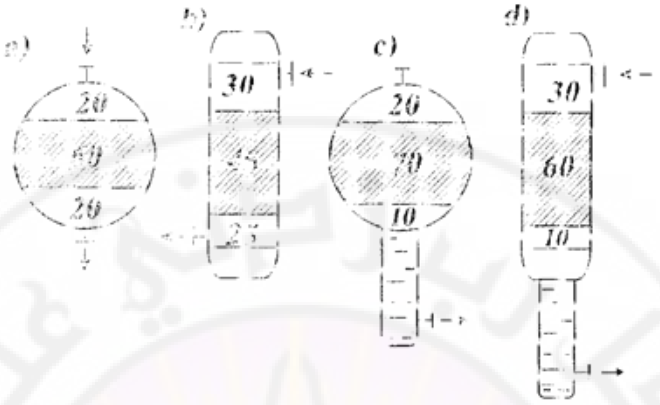
$$V_{CRII} \geq [V_{dI} + (V_b + V_a) \cdot 0.7 \cdot 0.3 + V_{sI} \cdot 0.3] \times 1.3 \cdot 1.25 \cdot 1.20 =$$
$$= 1.95 [V_{dI} + 0.21 (V_b + V_a) + 0.3 V_{sI}] \qquad (5.9a)$$

وللتغذية العلوية :

$$V_{CRII} \geq [V_{dI} + (V_b \cdot 0.3 + V_a \cdot 0.5) + V_{sI} \cdot 0.3] \times 1.3 \cdot 1.25 \cdot 1.20 =$$
$$= 1.95 [V_{dI} + 0.3 V_b + 0.5 V_a) + 0.3 V_{sI}] \qquad (5.9b)$$

في الخزان الدوراني العمودي يؤخذ الامتلاء العامل 25 % من سعة الخزان V_{CR} (الشكل 5-22.b) وبالتالي يبقى 45 % من حجم الخزان لاستقبال السيط السائل من الأنظمة . بما أنه يشغل 70 % من حجم الخزان بالسائل فالمعامل $K_4 = 0.70 / 0.45 = 1.55$ عندئذ في المعادلتين (5.9a) و (5.9b) يصبح المعامل الذي يؤخذ بالحساب للخزان الأفقي $1.20 \cdot 1.25 \cdot 1.45 \cdot 1.55 \cong 2.7$.

إذا كان الخزان الدوراني يحوي على مساعد سائل كما في الشكل (5.22 c,d) فإن الامتلاء العامل يؤخذ 10 % للخزانات الأفقية والعمودية على حد سواء (بدون حساب سعة المساعد) . في هذه الحالة يبقى 70 % من الحجم لاستقبال السائل ويكون $K_4 = 0.8 / 0.7 \cong 1.15$ أما في الخزانات العمودية يبقى 60 % من حجم الخزان لاستقبال السائل ويكون $K_4 = 0.70 / 0.60 \cong 1.15$. عندئذ يصبح المعامل الذي يؤخذ بالحساب في المعادلتين (5.9a) و (5.9b) بالنسبة للخزانات الأفقية $1.15 \cdot 1.25 \cdot 1.20 = 1.7$ أما للخزانات العمودية يصبح $1.15 \cdot 1.4 \cdot 1.20 = 2.0$



الشكل (22-5) : امتلاء الخزانات الدوائية بسائل وسيط التبريد

السعة الضرورية لخزانات التصريف تورد بالصيغة (5.8) ولكن بما أن الإذابة لا تجري بوقت واحد من كل أجهزة التبخير بل بشكل مستقل للغرف أو الأجهزة لذا يؤخذ بالحسبان أجهزة تبخير الغرف التي تكون تلاميبها أكبر سعة . بما أن سائل وسيط التبريد يجب أن ينساب بالكامل من أجهزة التبريد إلى الخزان فإن المعامل $K_1 = 1$.

الخزان الخطي يصمم لاستقبال السائل بحجم لا يقل عن 30 % من السعة الهندسية لتلاميب أجهزة التبريد عند التغذية العلوية للسطح وبما لا يقل عن 45 % من السعة نفسها عند التغذية السفلية . أي أنه في الصيغة (5.8) الحالة الأولى يكون $K_2 = 0.30$. والحالة الثانية $K_2 = 0.45$. K_4 معامل الاحتياط بهذه الحالة يأخذ $K_4 = 1$.

لأنظمة التبريد مع وسيط تبريد ثانوي فإن الخزان الخطي يجب أن يصمم لاستقبال وسيط التبريد من المبخرات .

من أحدى محاسن التبريد بالهواء إمكانية تسخين الأحواض، إذ أن مبردات الهواء تملك سطوح مكثفة قليلة الحجم ولها أحواض لا تعيق حركة الهواء . أفضل وأوفر وسيلة لتسخين مبردات الهواء وأحواضها هو استخدام البخار من جهة الدفع حيث إنه عند ذلك لا حاجة لصرف طاقة اضافية .

مخطط مثل هذا النظام موضح على الشكل (23-5). هنا ثبتت بطارية مبرد الهواء ١ بوضع حوض ٢ ملحوم على قعره أنبوب متعرج ٣. عند التنظيف من الثلج يدفع البخار في الأنبوب

المتخرج ، كذلك في البطارية يخرج الماء من الوعاء عبر الفتحة ٦ ، وعبر الأنبوب ٤ الى مدخل المضخة .

في الدكة ذات درجات الحرارة المنخفضة يحاط الأنبوب ٤ بأنبوب ذي قطر كبير ٥ وفي الفراغ بين الأنبوبين يمر البخار الخارج من الأنبوب المخرج ٣ مسخنا المطوق المتكاثف من البطارية ومن الحوض المسخن يدخل في خط تصريف مشترك . إن أكثرة اذابة الجليد بهذه الطريقة صعبة نظرا لكثرة عدد الخطوط والمسخنات .

ذكرنا مما سبق تستخدم في بعض الحالات طرق أخرى لإذابة الجليد وذلك بتسخين سطوح مبردات الهواء بمسخنات كهربائية او قنابل السطوح بالماء أو بمحاول مائي غير قابل للتجمد .

تسخين البطاريات والأحواض وأنابيب التصريف يمكن أن يتم بوساطة مسخنات كهربائية أنبوبية ومسخنات سلكية مرنة .



الشكل (13-5) مخطط إذابة مبرد الهواء مع تسخين الحوض

المسخنات الكهربائية الأنبوبية تثبت على الأنابيب وعلى الريش وتوضع بخشونة 150 ÷ 200 mm . المسخنات السلكية إما أن تلف على الأنابيب أو توضع على طول الأنبوب وغالبا تستخدم لتسخين أنبوب التصريف . الاستطاعة التقريبية لمسخنات البطارية والحوض 0,15 ÷ 0,20 kw/m² . إن مصاريف الطاقة الكهربائية هي أدنى مساوئ هذه الطريقة . ولكن من محاسن هذه الطريقة سهولة تركيبها . قبل إذابة الجليد يجب تصريف وسيط التبريد من أجهزة التبريد .

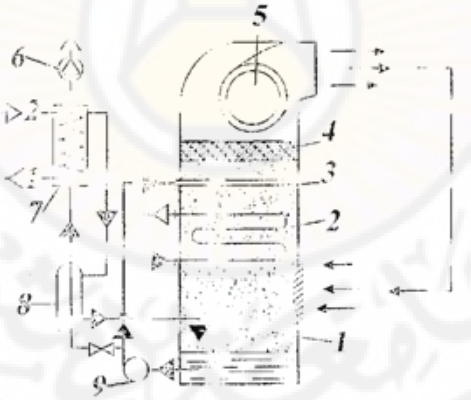
إذابة الجليد عن مبردات الهواء المنضدة يتم بارواديا بالماء . الخبرة العملية توضح أنه إذا أنجزت أنابيب التصريف بقطر 100 mm ÷ 80 ، وطول الجزء من هذه الأنابيب الذي في

الغرف ذات درجة الحرارة المنخفضة غير كبير فإن الإذابة يمكن أن تتم بدون تسخين الوعاء وأنابيب التصريف .

هذه الطريقة يمكن أن تستخدم بشكل مختلط مع طريقة تسخين مبردات الهواء بالبخار من حلقة الدفع . إن الأنظمة تكون أسهل في حال عدم تصريف سائل وسيط التبريد من أجهزة التبريد . درجة حرارة ماء الإرواء يجب ان لا تزيد عن 25° C / وذلك لتجنب حدوث ارتفاع الضغط في البخارية . وكذلك عند درجات الحرارة العالية يمكن أن يشكل سبب كثيف في الغرف ذات درجة الحرارة المنخفضة .

في الأمكنة التي يكون فيها انبعاث كبير للرطوبة من الأنسب استخدام مبردات الهواء ذات الإرواء الدائم وهذا يعني الإذابة الدائمة للجليد (شكل 4-2-5) . المبرد المتعرج ٢ يروى بشكل دائم . مثلا يستخدم للإرواء محلول الماء- بروبيلين غليكول الذي يدفع بوساطة المضخة ٩ إلى المرذذات ٣.

دوران الهواء يتم بوساطة المروحة ٥ ، وتوضع قبلها طبقة ٤ تجنب نقل البروبيلين غليكول إلى غرف التبريد .



الشكل (4-2-5) : مخطط مبرد هواء مع ترتيب دائم

من أجل إعادة تركيز المحلول الذي يصبح فقيرا يستخدم مبخرا موضعيا . من خط دفع المضخة تؤخذ بشكل دائم كمية من المحلول بما يتناسب مع فتحة الصمام 1 . عبر المبادل ٨ يدخل المحلول الفقير إلى المبخر "التخلخل" ٧ (الضغط فيه منخفض ليتم التبخر عند درجات حرارة منخفضة) . مضخة التخلخل ٦ تطرح بخار الماء من المبخر إلى الخارج . المحلول الغني يبرد في المبادل بتبادله الحرارة مع المحلول الفقير . عند وجود عدد كبير من مبردات

الهواء فإن إعادة التركيز يمكن أن تتم في محطة تبخير مركزية متوضعة في قسم الإنتاج . المحلول الفقير يصب في خزان المحطة ومن المحطة يدفع المحلول الغني إلى صمام عوامة موجود في وعاء كل من مبردات الهواء وهذا يضمن مستوى ثابتاً في كل منهما .

مبردات الهواء ذات الإرواء الدائم تمتلك معامل انتقال حراري (مرتين مثلا) أكبر منه لمبردات الهواء الجافة ، ذلك لكون سطوحها نظيفة دائما من الجلد . كذلك في التبادل الحراري مع الهواء يشارك سائل بارد مرطب للحلزون وبذلك يزيد سطح التبادل الحراري .

تكلمنا سابقاً عن ضرورة تقسيم أنظمة التبخير حسب درجات حرارة الغليان بما يتوافق مع درجات حرارة الغرف ، إلا أنه عند تعدد درجات حرارة الغليان (أربع إلى ست) فإن هذا يزيد من عدد الصواغط ، يعقد خطوط أنظمة التبخير . عند الأحمال الحرارية غير الكبيرة نسبيا لغرف التبريد ذات درجة حرارة غليان t_{02} (الغرف العامة مثلا) يمكن وصل هذه الغرف إلى النظام ذي درجة حرارة الغليان الأخفض t_{02} كما هو موضح في الشكل (25-5) . هنا جميع أجهزة التبريد ٣ و ٤ للغرف المختلفة يمكن ان تعمل بمخطط مع مضخة عند درجات غليان t_{02} . في هذه الحالة تغذية السائل تتم بوساطة المضخة عبر مجمع السائل ١٠ والصمام ١، أما الصمام 2 اثناء ذلك يكون مغلقا، الصمام 3 على خط البخار يجب أن يكون مفتوحا . إذا كانت الغرفة المبردة بالجهاز ٣ يجب أن تمتلك درجة حرارة أعلى، فغالبا ولاعتبارات تكنولوجية لا يفضل الحصول على درجة الحرارة المطلوبة في الغرفة بطريقة تصغير سطح التبريد (بسبب إمكانية تجمد السلع عند البطارية وزيادة الجفاف) . في هذه الحالة من المناسب الحفاظ على درجة حرارة غليان t_{01} اعلى في أجهزة تبريد الغرفة المعنية بمساعدة صمام الي ذي ضغط ثابت 4 (خنق الى للضغط فيما قبله) على خط البخار . في هذه الحالة يتوجب إغلاق الصمام 3 وفتح الصمام 5. البخار عبر مجمع البخار ٧٠ والخزان الدوراني ١ يُسحب إلى الضاغط الذي يعمل لأجل درجة حرارة الغليان المنخفضة t_{02} . تلقائياً عند ذلك لا يمكن أن تقل بالمضخة ٢ (بسبب كون الضغط في البطارية ٣ أكبر منه في البطاريات ٤) بل تتم بمنظم مناسب لهذا الهدف ، مثلاً صمام تنظيم ترموستاتي IRV .

الدرجات C °50– والأخفض تستخدم مواد مختلفة سيلة الغليان والتي تستخدم كمواد عاملة في الآت التبريد مثل الأمونيا ، الفريونات السريعة التبخر نسبيا (متطايرة) الإيزوبنتان وغيرها . صفة عامة أخرى لوسائط التبريد الثانوية هي إمكانية السمية . إن الفعالية الكيميائية العالية للمحاليل تجعلها إلى جانب الاستخدام الواسع لوسائط ناقلة للحرارة تستخدم وسائط ثانوية أخرى أقل فعالية مثل إيتيلين غليكول $C_2H_4(OH)_2$ والبروبيلين غليكول $C_3H_6(OH)_2$. ان سمية وسيط التبريد الثانوي مهمة أيضا ولكن هذا لا يعيق كثيرا استخدام هذه الوسائط بل يتطلب الأمر استخدام مقادير مناسبة عند استثمار المنشأة . من الضروري الانتباه إلى خصائص أخرى لوسائط التبريد الثانوية . إحدى هذه الخصائص التطاير (سرعة التبخر) المرتبطة بدرجة حرارة الغليان عند الضغط الجوي . المواد التي تملك درجة تطاير كالماء او أقل يمكن أن تستخدم في الأجهزة المفتوحة أما المواد الأكثر سرعة بالتطاير تستخدم في الأجهزة المغلقة . الخاصة المهمة ايضا هي الحرارة النوعية للمادة . ولأن اي وسيط تبريد ثانوي يمر في المبخر عادة بمقدار (3 K + 2) وليلا بمعدل (6 K + 4) ، لذا فكمية الوسيط الدائر في التكلفة والدلالة المصروفة لضخ السائل تتعلقان بشكل كبير بالحرارة النوعية السائل (وبشكل أصح بالجداء CP – الحرارة النوعية الحجمية) .

افضل قيمة لهذا المؤشر يملكها الماء ، تأتي بعده المحاليل والمواد الكحولية . هذه القيمة اقل بقليل الشيء عند الأمونيا . جميع المركبات الهيدروكربونية تتطلب زيادة في حجم السائل المضخوخ مرتين إلى ثلاث مرات .

ثمة مؤشر اخر مهم كذلك وهو لزوجة وسيط التبريد الثانوي ، عند اللزوجة العالية ينخفض معامل الانتقال الحراري (وهذا يعني زيادة استهلاك المعدن من اجل الأجهزة) وكذلك سيحتاج كبيرة في الضغط من أجل تحريك السائل . لذا التبريد يكون أفضل كلما كانت اللزوجة تعتبر الأفضل وسيط تبريد ثانوي في مجال درجات حرارته . المواد الكحولية تملك لزوجة عالية نسبيا وبالتالي مؤشر هذه المواد يكون أسوأ منه للمحاليل. في مجال درجات الحرارة القريبة من درجة تجمد وسيط التبريد الثانوي فإن لزوجة الأخير ترتفع وبالتالي في هذا المجال يكون المؤشرات المذكورة أعلاه غير كافية. لذلك عند درجات حرارة حوالي C °50– نحصل على نتائج أفضل باستخدام الأمونيا كوسيط تبريد ثانوي . المركبات الهيدروكربونية (بغض النظر عن مؤشراتها السيئة) تستخدم في مجال درجات الحرارة المنخفضة الذي لا يمكن فيه استخدام وسائط تبريد ثانوية أخرى . في الأعمال المخبرية غالبا يستخدم الكحول

كوسيط تبريد : الكحول الإيثيلي C_2H_5OH والمعدني CH_3OH ، اللذين يملكان درجة حرارة تجمد بالترتيب $-117.3^{\circ}C$ ، $-97.8^{\circ}C$. تسمية المادتين الأخيرتين هي الكحول والكحول المعدني السمية أيضاً .

المخططات بوسيط تبريد ثانوي تصنف بحسب المبخرات وأجهزة التبريد المختارة. أي هل يعد المبخر أو جهاز التبريد مفتوحاً أو مغلقاً . وهذا يعني هل يوجد في جهاز التبادل الحراري مستوى حر لوسيط تبريد الثانوي يقع تحت تضغط جوي . المبخرات لغطسة والأنبوبية العمودية واللوحية تنتمي إلى المبخرات المفتوحة ، وإلى المبخرات المغلقة تنتمي المبخرات الأنبوبية الصندوقية والحلزونية الصندوقية . مبردات الهواء الرطبة تعدّ أجهزة تبريد مفتوحة . أجهزة التبريد المغلقة يمكن أن تعدّ بطاريات الغرف المختلفة ومبردات الهواء الجافة والتي يتم فيها سيلان السائل عبر الأنابيب مثلاً بذلك مدفعية بنكمن .

5-5-1 مخطط بأجهزة تبريد مفتوحة ومبخر مفتوح :

إذ : $\Delta P_h = \rho g h$ – جداء الارتفاع فوق مستوى الوسيط في المبخر بالوزن النوعي للوسيط . في المباني المتعددة الطوابق فإن العنصر الأخير في العلاقة السابقة قد يزيد على مجموع العنصرين الأولين .

٢ – ضرورة وجود خزان سعة إضافية . إن وضع مثل هذا الخزان يتطلب ليس فقط نفقات إضافية في التأسيس بل يصبح صيانته صعبة للوصول .

٣ – من المهتم توضع المبخر تحت أجهزة التبريد بسبب أن رجوع الوسيط في خطوط الرجوع يتأثر بشدة بتأثير الثقل الذاتي .

٤ – إن عدم تساوي المقاومة على الطريق إلى كل جهاز تبريد يحتم تنظيم كمية وسيط التبريد بوساطة صمامات على خطوط الدفع وذلك لتأمين توزيع متجانس .

٥ – الإمكانية الكبيرة لنمو التضخم بسبب التماس المباشر لوسيط التبريد الفلوري مع الهواء في مبردات الهواء المفتوحة .

٦ – عند استخدام المحاليل الملحية كوسيط فيرى ملاحظة ضرورة زيادة تركيز المحلول بسبب امتصاص الرطوبة من الهواء وهذا يجر وراءه ضرورة إعادة تركيز المحلول دورياً .

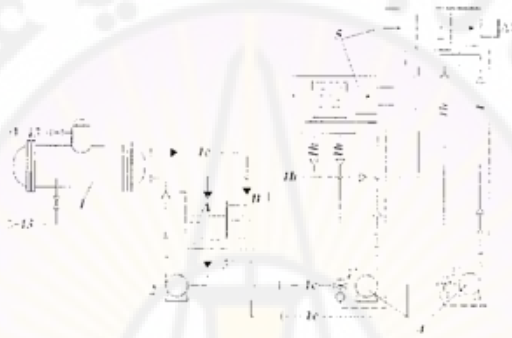
٧ – ضرورة تخصيص مكان في المباني لتوضع المبخرات والخزانات المساعدة لأنه عند إضافة مادة محلولية فإن فائض يحدث لوسيط التبريد الثانوي يؤدي إلى انتساخ قسم الآلات ويسيء إلى ظروف استثمار الضواغط .

بسبب الأسباب السابقة تجعل إمكانية استخدام مثل هذا المحلول فقط في الحالات التي تكون فيها شروط العملية التكنولوجية تحتم استعمال أجهزة التبريد المفتوحة . يجب الإشارة إلى أنه في مثل هذه الحالات يمكن أن تستخدم المبخرات الصفائحية أيضاً .

5-5-2- مخطط باجهزة تبريد مفتوحة ومبخر مغلق :

يمكن تركيب المبخر المغلق في أي مستو بالنسبة لأجهزة التبريد ولكن بشرط وجود خزان تجميع يوضع تحت الأجهزة وأن يكون حجمه كافيا لاستقبال كامل وسيط التبريد الثانوي من أجهزة التبريد وأنابيب التصريف .

مخطط مشابه يستخدم في محطات تكييف الهواء باستعمال مكيفات تعمل على تزذيذ الماء (الشكل 27-5).



الشكل (27-5) : مخطط أنابيب الماء لمحطة تكييف هواء ذات مكيفات تزذيذية

من أجل تبريد الماء الذي يعمل في هذه الحالة كوسيط تبريد ثانوي يستخدم مبخر صندوقي ١، إ يضخ الماء الساخن إليه بالمضخة من القسم A المخصص له في خزان التجميع ٣ . يسحب الماء في القسم A قادماً من المكيفات ٥ المتوضعة في مستويات مختلفة وجميعها أعلى من الخزان ٣ . الماء البارد يخرج من المبخر ويصب في قسم الماء البارد b لخزان التجميع ومنه بواسطة المضخة ٤ يدفع إلى المستهلك . تستخدم مضخة مستقلة لكل مكيف وبالتالي يمكن تزويد كل مكيف بالماء ذي درجة الحرارة اللازمة . قبل المضخات ٤ تركب صمامات مزج ثلاثية 1 وفيها يمكن أن يتم مزج الماء البارد بماء ساخن من حوض مبرد الهواء . نسبة الخليط تتحدد بـ وهذا يتعلق بدرجة حرارة الهواء الخارج من المبرد أو الهواء المكيف وذلك باستخدام حساس درجة حرارة. هذا المخطط يكون أبسط بكثير فيما لو كان المبخر يخدم مبرداً واحداً أو عدة مبردات تقع على مستوى واحد . إن خصوصية مثل هذا النظام تكمن ببقاء وسيط التبريد الثانوي في أحواض المبردات عند إيقاف المضخة .

5-5-3- مخطط بأجهزة تبريد مغلقة ومبخر مفتوح :

إن مثل هذا المخطط موضح على الشكل (28-5) وفيه ايضا تتوضع أجهزة التبريد على مستويات مختلفة . وسيط التبريد الثانوي يسلم إلى أجهزة التبريد ٤ من الأسفل وبفضل هذا فإن الوسيط لا ينساب من الأجهزة عند توقف المضخة ٣ ، وهذا يسمح بالاستغناء عن خزان السعة الإضافية . إضافة إلى ذلك فإن حركة الوسيط من الأسفل إلى الأعلى في أجهزة التبريد يتوافق مع جهة حركة فقاعات الهواء وهذا يسهل إبعاد الهواء من وسيط التبريد وتجمع الهواء في الأنابيب العليا لأجهزة التبريد . من أجل إخراج الهواء من البطاريات يوضع في النقطة العليا لأنابيب الرجوع في كل غرفة مبردة مسمار 2 ذا قطر غير كبير (6 ÷ 10 mm). المسمار 1 وظيفته طرح المحلول من المبخر إلى خزان التصريف . المبخر يملك طارون تبريد ٢ .

إن هذا النوع من المخططات بالمقارنة مع المخططات السابقة يملك المزايا التالية :

١ – لا حاجة لخزان سعة إضافية .

٢ – يمكن تغيير توضع أجهزة التبريد والمبخر بأي وضع مرغوب .

٣ – تقل بشكل كبير الحاجة إلى اعادة تركيز المحلول لأن وسيط التبريد الثانوي لا يتلامس مباشرة مع هواء الغرف المبردة .

٤ – التقليل من تعرض الأنابيب والأجهزة للصدأ .

أما مساوئ هذا المخطط هي التالية :

١ – عند توضع أجهزة التبريد بمستوى اعلى من المبخر يتطلب الأمر مصاريف إضافية من الطاقة لرفع السائل إلى أعلى نقطة من النظام .

٢ – من الضروري استخدام معايير خاصة لتوزيع وسيط التبريد إلى الأمكنة المبردة وذلك لأن المقاومات الهيدروليكية على الطريق إلى اجهزة التبريد المنفردة غير متساوية.

نظرا لبساطة هذا المخطط فإنه يستخدم في المحطات غير الكبيرة .



الشكل (28-5)

مخطط تبريد بوسيط تبريد ثانوي من أجهزة تبريد مغلقة ومبخر مفتوح

5-3-4 – مخطط بأجهزة تبريد مغلقة ومبخر مغلق :

هذا المخطط أكثر ملاءمة من المخططات السابقة . الشكل (29-5) يبين الحالة الأكثر عمومية للمخطط من أجل برادات متعددة الطوابق . هذا يعني وجود ليس خطي أنابيب فحسب بل ثلاثة خطوط وجميعها تحت تأثير الضغط :

I – خط التغذية II – خط الرجوع III – خط التعويض .

إن وجود ثلاثة خطوط يضمن توزيع وسيط التبريد الثانوي إلى الغرف المبردة بشكل متجانس أي الطاقة التبريدية لكل من أمكنة الاستهلاك متساوية في الطول . وبالتالي فالمقاومة الهيدروليكية على الطريق الى كل مكان مبرد وسطه يمكن أن تكون واحدة . مثلاً وسيط التبريد حتى يصل إلى الطابق الأول يعبر طريقاً قصيراً في أنبوب التغذية ولكن بالمقابل فهو يعبر طريقاً اطول في أنبوب الرجوع. إلى الطابق الثالث يعبر وسيط التبريد مسافة طويلة في انبوب

التغذية وبالمقابل يعبر مسافة قصيرة في خط الرجوع . في حلقة الدوران لكل طابق يمر وسيط التبريد الثانوي بأربعة وحدات لف أنبوب السربنتين . لكل وحدة لف خطوط أنبوب في المدخل لذا يسمى أحياناً الصفائح ثلاثي الإثابيب .



شكل (5.9) : مخطط توزع وسيط تبريد ثانوي مع جهاز تبريد مغلق ، وبخر مغلق

كي تكفي وسطي الضغط لا تحت ضغط معين يجب على جهاز التكثيف بوسيط التبريد الثانوي عند كل التغيرات الممكنة لدرجة الحرارة . وهذا يمكن تأمينه بتركيب خزان تمدد ٣ في النقطة العليا لحلقة الدوران (بمعدل 1 ÷ 2 m فوق أعلى جهاز تبريد) . عند انخفاض درجة حرارة وسيط التبريد الثانوي فإن انخفاض حجم السائل في النظام يتوافق بانخفاض مستوى السائل في خزان التمدد .

التمدد الحجمي لخزان التمدد يمكن أن يحسب من العلاقة :

$$V_\delta = V\beta \cdot \Delta t_m \qquad (5.11)$$

إذ : V – حجم الأنظمة المملوء بوسيط التبريد الثانوي .

β – معامل تمدد الحجم للسائل وسيط التبريد .

Δt_m – التغير الاعظمي الممكن لدرجة حرارة وسيط التبريد الثانوي في شروط استثمار المحطة .

تتجنب فيما بعد خزان التمدد يوصل الأخير بأنبوب فائض ٥ يصل إلى قسم الآلات . الصمام ١ يستخدم لطرح الوسيط من النظام إلى خزان الصرف . ومنه يوضع لمضخة ٦ يمكن ضخ الوسط عند إتمام ملء النظام . في هذه الحالة الصمام 2 يجب أن يكون مغلقا. أما ملء النظام يمكن مراقبته بسيلان السائل عبر الأنبوب ٥ .

أهم محاسن المخطط المغلق هو المصاريف القليلة نسبيا للطاقة من أجل تشغيل المضخة وذلك لأنه في مثل هذه المخططات لا نحتاج إلى ضغط لدفع السائل إلى النقطة العليا للنظام لأن عمود السائل في أنبوب التغذية يعادل عمود السائل في انبوب التعويض . ولهذا السبب فإن العامل ΔP_h في العلاقة (5.10) يساوي الصفر .

هناك مزايا أخرى وهي عدم علاقة توضع المبخر ٢ بتوضع أجهزة التبريد ، تعرض الأجهزة للصدأ أقل . قلة الحاجة لإعادة التركيز . إمكانية توضع التجهيزات في غرفة الآلات وذلك لغياب الأنابيب التي تؤدي إلى انساخ غرفة الآلات وبالتالي لا توجد ضرورة لإنشاء مكان خاص بالأجهزة ، إبعاد الهواء بشكل جيد طالما أن الوسيط يتحرك من الأسفل إلى الأعلى بشكل دائم وحتى أعلى نقطة في النظام (خزان التمدد) . لتجنب ارتفاع مستوى وسيط التبريد الثانوي في خزان التمدد وفيضانه منه يتوجب وضع خزان التمدد في النقطة الصفرية للضغط الزائد في النظام .

حجم خزان التمدد عادة لا يتجاوز 5 % من حجم النظام V ، هذا يمكن ملاحظته من خلال العلاقة (5.11) ، وذلك لأن معامل التمدد الحجمي للسائل غير كبير (عند 10°C للماء $\beta = 0.0001\ 1/K$ وللحلائل $\beta = 0.0004$) ، وتغير درجة الحرارة الاستثماري $\Delta t_m = 50 \div 60\ K$. ولكن في محطات التبريد الكبيرة مثلا الصناعات الكيميائية ، حجم النظام يصل تقريبا إلى $1000\ m^3$ وهذا يتطلب رفع خزان ذي حجم $50\ m^3$ إلى ارتفاع كبير الأمر الذي يخلق صعوبات تركيبية واستثمارية . ولذلك يوضع خزان سعة إضافية ٣ بالارتفاع اللازم فوق اجهزة التبريد الشكل (30-5) ذو حجم غير كبير $2 \div 3\ m^3$ أما السعة المتبقية بكاملها محتواة بالخزان ٧ المركب عند القسم التكنولوجي .

عند زيادة حجم وسيط التبريد الثانوي في النظام بما في ذلك في أجهزة التبريد ٤ فإن الفائض يصب في الخزان ١ عبر أنبوب الفائض ٥. عند انخفاض حجم الوسيط في النظام يمد خزان

تتحدد بالمسافة من الخزان ١ بواسطة المضخة ٨ عبر الأنبوب ٣ وذلك بعد تلقي إشارة من حساس المستوى Dy .

نلاحظ أن وسيط التبريد الثانوي يضخ بواسطة المضخة ١ بشكل دائم إلى المبخر ٢ ، في الوقت نفسه في حال استخدام مبخر مفتوح فإن الوسيط يؤخذ من المبخر بواسطة مضخة . وهذا يضمن وجود ضغط ثابت قبل المضخة ، طالما ان المضخة تركب عادة تحت مستوى الوسيط في المبخر المفتوح .

إذاية الجليد عن سطوح أجهزة التبريد في الأنظمة التي يتم فيها التبريد باستخدام وسيط تبريد ثانوي يجري بواسطة وسيط تبريد ثانوي مسخن حتى درجة حرارة (40° ÷ 30) .

يسخن وسيط التبريد في مسخنات يستخدم فيها الماء الساخن أو بخار الماء أو بخار وسيط التبريد المأخوذ من أنابيب الدفع .



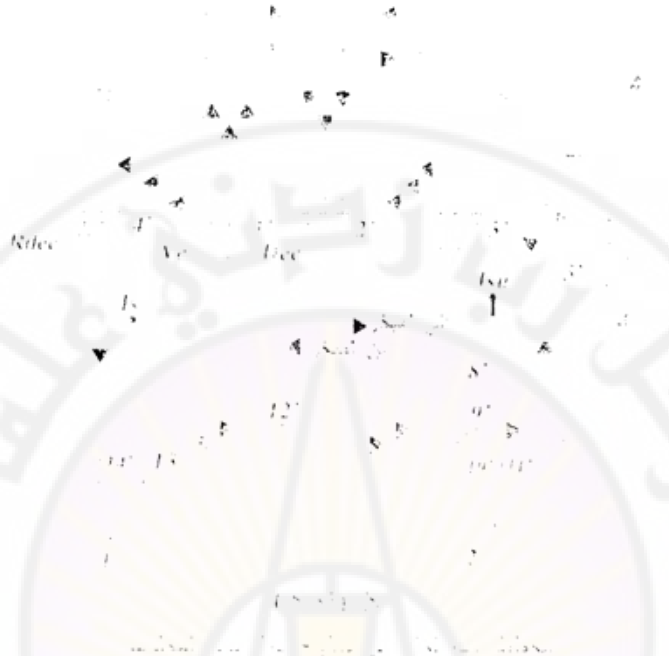
الشكل (30-5)

مخطط ثلاثي الأنابيب عند سعة الغذاء الكبيرة بوسيط التبريد الثانوي

5-5-3- مخطط إنابة التبخير عن مشروع الطاقة الشمسية .

الشكل (5-31) يبين مخطط إنابة للآلة لأجهزة التبريد الامتزازية والتي اقترحه العالم بوكروفسكي. هذا المخطط يسمح بإعداد الكمية اللازمة من المحلول الساخن والذي يساعد في الإسراع بعملية الإنابة ويقلل من تصنيع في تدفق تسخين المحلول البارد من الامتزازيات وتبريد المحلول المسخن في البخار . في نظام الإنابة يوجد خزانان للمحلول البارد ١ والمحلول الساخن ٢ . دوران المحلول يتم بوساطة المضخة ٣ . في الطوابق تتوضع مجمعات إنابة لأجل المحلول الساخن ؛ عند تحضير المحلول الساخن تفتح صمامات 10 ، 6 ، 7 ، 5 ، 11 .

المحلول يدور بين المسخن ٤ والخزان ٢ وبالتالي ترتفع درجة حرارة المحلول في الخزان بالتدريج مدة زمنية يتم أثناءها بوساطة ترمومتر . قبل الإنابة يتم طرد المحلول البارد من البطاريات إلى الخزان ١ بوساطة المحلول الساخن ولأجل ذلك (في حال إنابة بطارية الغرفة رقم ٢) تغلق الصمامات 1 على المجمع VC ، 2 على المجمع DeC وأيضاً 8 وتفتح الصمامات 14 ، 4 ، 3 . عندما يشير الترمومتر الذي يقيس درجة حرارة الوسيط في الخط الذاهب من المجمع RDeC إلى ارتفاع في درجة الحرارة ، فإن هذا يعني أن كل المحلول البارد قد تم إبعاده عند ذلك يمكن البدء بدوران المحلول الساخن عبر البطاريات والمسخن . من أجل ذلك تغلق الصمامات 14 ، 11 وتفتح 9 ، 12 . عند انتهاء الإنابة بطرد المحلول الساخن من البطاريات بوساطة المحلول البارد . من أجل ذلك تغلق الصمامات 7 ، 5 ، 9 وتفتح 10 ، 6 ، 13 . يتجه المحلول من الخزان ١ إلى البطاريات ، المحلول الساخن يعيد إلى الخزان ٢ . انتهاء عمليات المحلول الساخن تتم مراقبته أيضاً بوساطة ترمومتر .



وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

اختبار التجهيزات لقسم الإلكترونيات

3-1 : اختيار نوع وعدد الآلات المبردة :

فمثلا في محطات التبريد في الابواخر يقترح تحديد استطاعة الات التبريد على أساس 18ساعة عمل في اليوم . في مثل هذه الحالة يعتد عمل الآلات بشكل كبير . غير كبير بمعامل استثمار الزماني من 18/24 وحتى 22/24 أي أن 0.92 > b = 0.75 . عندئذ استطاعة آلات التبريد يجب أن تكون :

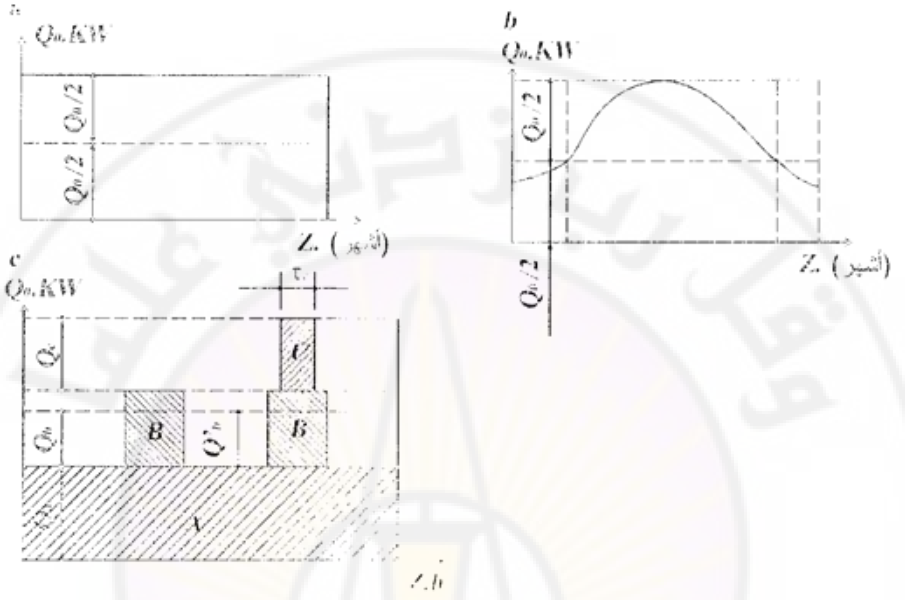
$$Q_{0,n} = Q_{0,} \quad (٣-٦)$$

في المنشآت التي تتمتع بمنحني تحميل غير متجانس فإن الاحتياطي يتشكل من نفس طبيعة الحمل ،العالما الأحمال محسوبة لأجل الفترة ذات الحمل الأكبر . إذا أجري الحساب في مثل هذه الحالات على أساس عدد ساعات عمل أقل من 24 ساعة في اليوم فإن هذا يؤدي الى كون الاحتياطي الإضافي للتجهيزات غير مبرر .

إن مسألة عدد آلات التبريد المتوضعة أو وحدات التبريد لكل درجة حرارة غليان تعد مسألة ذات أهمية بالغة . يمكن تركيز الاستطاعة التبريدية الضرورية لدرجة حرارة الغليان المعينة بوحدة تبريد واحدة وبهذا يكون عدد آلات التبريد المتوضعة في غرفة الآلات متساويا مع عدد درجات حرارة الغليان . وعلى لكل درجة حرارة غليان يمكن أن يكون مناسبا توضع عدد من آلات التبريد . كقاعدة عامة يفضل اختيار الالات والوحدات ذات الاستطاعة الكبيرة ، طالما أن الالات الكبيرة تتمتع بمعاملات طاقية وحجمية أفضل وبفعل ذلك تعمل هذه الالات باقتصادية أكثر وبمستهلكات نوعي أقل تتعلق . تركيب عدد أقل من الآلات الكبيرة يقلل من المصاريف الأولية على الآلات والتجهيزات وبسهل الخدمة .

الاختيار الصحيح لعدد الالات والتجهيزات الاحتياطية الضرورية يجب أن يكون مرتبطا بطبيعة تغير الحمل خلال اليوم الواحد أو السنة الواحدة . في المنشآت التي تتمتع بانتاج (الخرج) منتظم تتبع (إن مثل كون تأثير الحمل الحراري من جهة الوسط الخارجي قليلا نسبيا) فإن منحنيات الحمولة اليومية والسنوية على محطة التبريد لاية درجة حرارة غليان تأخذ شكل خط أفقي (الشكل 6-1,a) ، إلا أن اختيار آلة تبريد واحدة لدرجة حرارة الغليان الواحدة يمكن أن يكون غير مناسب . تعطل الآلة الواحدة عن العمل ولو لأسباب بسيطة محتملة . يمكن أن يعرض سلعة غذائية للتلف . في مثل هذه الحالات يعد من الضروري وضع وحدة احتياطية ذات استطاعة تبريدية مساوية لاستطاعة الوحدة الأساسية . الحل الأفضل وضع وحدتين أساسيتين كل منهما بنصف الاستطاعة . عندئذ وفي حال تعطل إحدى

وحدتين فإن الوحدة الأخرى تضمن التبريد حتى في أشهر الصيف وبالتالي فإنها تعمل بدرجة حرارة أعلى بعض الشيء .



شكل (1-6) تغير متطلبات الحمل على التجهيزات التبريدية
a – متجانس b – [illegible] c – مرحلي (خروجي)

إذا تم اختيار ضواغط توربينية أو حلزونية (أوابية) عند ذلك لا نحتاج لاحتياطي لهما ، وذلك لأن هذه الضواغط تتمتع بوثوقية عالية ، كما أن مصنعي هذه الضواغط غالبا يكفلون عملها المستمر مع صيانة لمرة واحدة في السنة . إن ذلك يقلل من كلفة التجهيزات المركبة .

من ناحية أخرى تظهر منحنيات حمولة للمنشآت التي تكون فيها المهمة الأساسية لمحطة التبريد الحفاظ على درجات حرارة منخفضة في الغرف وذلك بسبب كون الحمل الحراري من جهة الهواء الخارجي يبدو أكبر من الأحمال الأخرى . نتيجة اذلك فإن المنحني السنوي للأحمال الحرارية يتبع لطبيعة تغير درجة الحرارة الخارجية للهواء (الشكل 6-1,b). إن تركيب مجموعة واحدة في هذه الحالة مناسبا على الحمل الكامل يؤدي إلى جعل الحمل صغيراً عليها في قسم كبير من السنة. في هذه الحالات التي تكون فيها المنحنيات تتمتع بمثل هذه الطبيعة من المناسب كثر توزيع الحمولة على اثنين أو ثلاث وحدات . وهنا يظهر احتياط جزئي يبني ضرورة إجراء الصيانة الدورية للتجهيزة وذلك لا توجد ضرورة لوضع

وحدة الاستطاعة خصوصية. عند مثل هذا النوع من منحنيات الحمولة يمكن تركيب صاعق واحد على الأقل ذي استطاعة متغيرة . في المحطات الكبيرة ذات الضغط التوربيني من الممكن أيضاً تركيب وحدة باستطاعة توربينية متغيرة مثلاً بوساطة تدوير شفرات التوجيه عند الدخول . يمكن تغيير الاستطاعة في مجال واسع أيضاً للضواغط الحلزونية وبالقتصادية ثابتة تقريباً .

في بعض المنشآت يتغير الحمل بشكل مفاجئ خلال اليوم وذلك نتيجة العمل الدوري للأجهزة التكنولوجية المستقلة (الشكل 6-1,c). الجزء a من منحنى التحميل اليومي عادة يتوافق مع الاستهلاك المنتظم لغرف الحفظ . في نفس الوقت فإن الحمل الناتج عن الأجهزة التكنولوجية يعطي المنحني صفة دورية (الجزء b) وأحياناً صفة ذروة (الجزء c) . يمكن حل مسألة اختيار عدد الآلات لهذه الحالة بأشكال مختلفة. يمكن توزيع الحمولة الكلية على ثلاث آلات باستطاعات Q_c ، Q_b ، Q_a. خيار آخر ممكن وهو توزيع الأحمال على آلتين Q_a و $Q_b + Q_c$ يمكن العمل على التقليل من الاستطاعة التبريدية المحددة للتجهيزات (Q_b بدلاً من $(Q_c - Q_b$ بحيث يسمح بتغطية حمولة الذروة وجزء من الحمولة الدورية بمساعدة مدخرات (مركمات) التبريد على حساب زيادة وقت عمل الآلات لتبريد وسيط التبريد الثانوي في خزان المركم ذي الحجم V_{ak} إلى درجة حرارة أخفض من درجة الحرارة التصميمية. من أجل إزالة الحمل الحراري Q_c فقط خلال زمن τ_c يجب أن يكون حجم وسيط التبريد الثانوي :

$$V_{ak} = Q_c \cdot \tau_c / (\rho_s \cdot C_s \cdot \Delta t_s)$$

إذ :

Δt_s : أكبر انخفاض لدرجة حرارة وسيط التبريد الثانوي المسموح به وفقاً لشروط عمل التجهيزات (عادة $5 \div 10\ ^oK$) .

إذا كانت طبيعة الحمولة لدرجات حرارة الغليان غير متساوية وفق الزمن فإن وجود استطاعة غير مستخدمة لواحدة من درجات الغليان يمكن أن يساعد في تخفيض استطاعة آلات التبريد المركبة لدرجات الغليان الأخرى . بالإضافة يمكن أن نسهل في التغلب على حمولة الذروة .

من المفضل اختيار طراز واحد من التجهيزات في أقل عدد ممكن من الطرازات المختلفة وهذا يسهل الاستثمار ويقلل من تشكيلة القطع الاحتياطية الضرورية .

في الوقت الحاضر حتى تشكل ١٤٪ من مجمل ساعات التوليد للمحطة وإن تشغيل الوحدة الكهربائية لساعات قليلة يعتبر عملية مكلفة وغير اقتصادية وإن الاستطاعات الصغيرة والمتوسطة الحرارية التي (0.40 MW - 0.25) تعمل بشكل رئيسي لتغطية الاستطاعات الكبيرة التي تحتاج لفترة طويلة لتسخين المرجل حتى استطاعة (1.0 MW - 1.5) بشرط أن تعمل عدة ساعات متتالية لتعطي مردود كبير نسبياً (حتى ٤٠٪ تقريباً) في محطة الاستطاعة الصغيرة .

إن معظم هذه الكميات الحرارية تستخدم لتسخين الماء المغذي للمرجل وتوليد البخار وتسخين الهواء اللازم لاحتراق الوقود في غرفة الاحتراق وهي تأتي من الحرارة الناتجة عن التكثيف في المكثف ، إن الاستطاعة الحرارية المستخدمة لتسخين الماء المغذي للمرجل تعتمد على درجة حرارة الماء المغذي للمرجل (T_{fw}) ودرجة حرارة التشبع (T_{sat}) عند ضغط المرجل الذي يعمل عنده ، وكلما كان الفرق بين درجة حرارة التشبع ودرجة حرارة الماء المغذي للمرجل كبيراً كلما كانت الاستطاعة الحرارية المستخدمة لتسخين الماء المغذي للمرجل كبيرة .

إن درجة حرارة الماء المغذي للمرجل (T_{fw}) تتعلق بدرجة حرارة التشبع (T_{sat}) بشكل أساسي ، بشكل أساسي على درجة حرارة الجو المحيط بشكل غير مباشر لأن درجة حرارة الماء في المكثف تعتمد على درجة حرارة الجو المحيط بشكل مباشر ، وتتراوح درجة حرارة الماء المغذي للمرجل (T_{fw}) بين (30 - 70) درجة مئوية .

إن ضغط التشبع في المرجل يعتمد على درجة حرارة التشبع (T_{sat}) ويتراوح بين (80 - 110) درجة مئوية ، وتعتمد درجة حرارة التشبع على درجة حرارة الجو المحيط بشكل غير مباشر لأن درجة حرارة الماء في المكثف تعتمد على درجة حرارة الجو المحيط بشكل مباشر ، وتتراوح درجة حرارة التشبع بين (80 - 110) درجة مئوية .

إن الاستطاعة الحرارية المستخدمة لتسخين الماء المغذي للمرجل (Q_{fw}) تتعلق بشكل أساسي بكمية البخار المتولد في المرجل ($\dot{m}_{st}$) وبالفرق بين إنتالبية البخار المتولد في المرجل (h_{st}) وإنتالبية الماء المغذي للمرجل (h_{fw}) ، وتتراوح إنتالبية البخار المتولد في المرجل (h_{st}) بين (2600 - 2800) كيلو جول / كغ ، وتتراوح إنتالبية الماء المغذي للمرجل (h_{fw}) بين (120 - 300) كيلو جول / كغ ، وتتراوح كمية البخار المتولد في المرجل ($\dot{m}_{st}$) بين (0.25 - 0.40 MW) عند استخدام المحطة الاستطاعات الصغيرة ، وتتراوح بين (1.0 - 1.5 MW) عند استخدام المحطة الاستطاعات الكبيرة ، وتتراوح بين (10 - 50 MW) في محطة الاستطاعة الوحدوية .

من ما سبق أن آلات التبريد الامتصاصية هي إمكانية توضعها في الأمكنة المكشوفة ، قلة تعقيد التجهيزات ووثوقية العمل . الآلات الامتصاصية (ماء - أمونيا) تستخدم على الأكثر في مجال درجة حرارة منخفض (حتى $-70\ ^{\circ}C$) ، أما الآلات التي تعمل على (بروميد - الليثيوم) فتستخدم للحصول على الماء البارد .

عند اختيار آلات التبريد التي تعمل على وسيط تبريد ما فإن مؤشرات الطاقة له لا تلعب دورا ملموسا . وإن الأكثر أهمية من ذلك الجودة الاقتصادية والفيزيولوجية والفيزيكيميائية لوسيط التبريد . الأمونيا كوسيط تبريد يحسن على نطاق واسع (أرخص ثمنا وتفوق كفاءة تجهيزات التبريد العاملة على الأمونيا بغض النظر عن سميته وقابليته للانفجار) وفي الآونة الأخيرة بعد استخدامه في محطات التبريد الصغيرة وفي محطات التبريد المتوسطة والكبيرة لا يحل محله بالتدريج الفريون . في المجال المتوسط الانخفاض لدرجات الحرارة يحل محله R_{13} وفي المجال المنخفض لدرجات الحرارة يحل محله R_{22} أو R_{500} . في الفروع السفلية لآلات التبريد التسلسلية يستخدم R_{13} . تبقى المؤسسات الإنتاجية التي تستخدم التبريد الاصطناعي تأثيرا في اختيار وسيط التبريد ، مثلا للمنشآت التي تنتج الأسمدة الآزوتية من الطبيعي اختيار الأمونيا كوسيط تبريد أما لمنشآت الصناعات الغذائية والكيميائية من المناسب استخدام محطات تبريد تعمل على البروبان أو البروبيلين لدرجات حرارة حتى $-40\ ^{\circ}C$ ، أما لدرجات حرارة أخفض الإيتان أو الإيتيلين ، وذلك طالما أن هذه المواد تعد منتجات بينية (مرحلية) أو نهائية للمنشأة .

2-6- اختيار نوع وعدد المبخرات و المكثفات والتجهيزات الأخرى :

ثمة طريقتان لاختيار الأجهزة عند تخطيط محطات التبريد ، في الطريقة الأولى يتم اختيار الأجهزة والتجهيزات المناسبة للضواغط المختارة عند بناء المنشأة يجري تركيب العناصر المستقلة المعبأة . في مكان التركيب يتم تجميع العناصر وتأهيم التوصيلات وما شابه ذلك . في هذه الحالة العناصر المختلفة للتجهيزات تركب بوساطة موردين مختلفين وهذا ما يضاعف تجميع تجهيزاتك .

الطريقة الثانية يتم فيها اختيار الوحدات التبريدية بحيث تكون كامل عناصر التجهيزات مركبة ومجمعة في المعمل .

Damascus University

فإن عدد المكثفات المركبة قليل نسبيا ولكن يمكن تقليل حجم المحطة بسبب اختيار أجهزة كبيرة بعدد أقل . ولكن لاحتمال حدوث عطل أو طارئ ما من الأفضل تركيب مكثف واحد مقسم (قطاعي) أو على اقل تعديل مكثفين غير مقسمين .

في المحطات التي يكون فيها نظام العمل متقاربا وخصوصا عند العمل افتراضا طويلة على حمولة خفيفة ، يكون من المفيد زيادة عدد مضخات تعليم الماء البارد (مثلاً يمكن اختيار مضختين مكثفين وواحدة احتياطية. لكن كل مضخة تفكر التي أن بعضي تعمل تكفية الضرورية) وعند ذلك يمكن فصل العدد المناسب من المضخات لتجنب المصروف الزائد للماء والقدرة الكهربائية لتدوير الماء في الفترة التي يكون فيها الحمل خفيفا . في المحطات التي تتمتع بمنحني حمولة ثابت من الضروري تركيب مبخرات ومكثفات احتياطية اذا استعملت وسائط التبريد الثانوية التي تسبب الصدأ وانسداد الماء .

عند اختيار الضواغط يمكن أن تكون استطاعتها أكبر من الاستطاعة التصميمية (تحسبا) لأن تدرج الضواغط المنتجة يحد من امكانية الاختيار وهذا بدوره يزيد من الحمولة الفعلية على المكثفات بالمقارنة مع الحمولة التصميمية ولذا يتوجب الأمر تحديد المساحة الضرورية لسطوح المكثفات ليس على أساس استطاعة الضواغط التصميمية بل على أساس الاستطاعة بعد الاختيار . إذا استخدمت الضواغط اللولبية المملوءة بالزيت فيجب أن نأخذ بالحسبان ان جزءا من الحرارة تطرح إلى الماء الذي يقوم بتبريد مبرد الزيت وهذا يقلل من الحمولة على المكثف .

عند اختيار نوع المكثفات كما هو الحال عند اختيار اي مبادل حراري يجب الحرص قدر الإمكان أن يتمتع الجهاز بأكبر فعالية للتبادل الحراري وباقل ما يمكن من الاستهلاك للمعدن . المكثفات الأنبوبية الصندوقية تتمتع بأفضل المؤشرات من بين المكثفات التي تبرد بالماء . نوعية ماء التبريد تعتبر مهمة بالنسبة لاختيار نوع المكثف . المكثفات الأنبوبية الصندوقية الأفقية صعبة التنظيف ولذا يكون من المناسب أكثر استخدامها عند توفر الماء العذب ، في الوقت نفسه فإن المكثفات الأنبوبية الصندوقية الشاقولية معدة لأماء غير النقي. من محاسن المكثفات الأنبوبية الصندوقية الشاقولي إمكانية تركيبها مع الخزانات الخطية على ساحة مكشوفة للسماء خارج حدود قسم الآلات وهذا يساعد بتقليل مساحة قسم الالات .

عند اختيار الأوعية الليفية لآلات التبريد المتعددة المراحل وبيئة الراحة في الاستثمار عالية تعقيد الأتمتة يفضل أن يكون عددها حسب عدد الآلات نفسها أي تشكيل مجموعات بمرحلتي

الضغط . المقاييس الضرورية للأوعية البيئية ولفواصل الزيت ولفواصل السائل تحدد من شروط الوصول إلى سرعة للبخار في مقطع الجهاز لا تزيد عن 0.5 ÷ 0.6 m/s. اذا كانت السرعة في جملة الاجهزة المنتجة أكبر من القيمة المذكورة فإن الامر يتطلب تركيب عدد من الاجهزة موصولة على التفرع

3-4- تخطيط أقسام الآلات :

تحدد مساحة قسم الآلات للمنشآت المتوسطة أو الكبيرة بمعدل 5 ÷ 10 % من المساحة الكلية للأمكنة المبردة . بعد اختيار التجهيزات اللازمة لقسم الآلات يمكن تدقيق مقاييس الأخير عند توضع التجهيزات على المخطط .

بالنسبة للتجهيزات التي لا تكون بشكل وحدات (مجموعات) فإن قسم الآلات عادة يحوي غرفتين أساسيتين: غرفة المضواغط وفيها تتوضع المضواغط ، وغرفة الأجهزة وفيها تتوضع أجهزة التبادل الحراري ، الخزانات ، المضخات والتجهيزات الأخرى المساعدة . في أقسام الآلات غير الكبيرة تتوضع جميع التجهيزات في غرفة واحدة . بالنسبة التجهيزات المنتجة بشكل وحدات كاملة لا توجد ضرورة لتخصيص غرفة مستقلة للأجهزة .

غرفة الأجهزة تتوضع بجانب غرفة المضواغط . في أغلب الحالات غرفة الآلات تقع في نطاق الأول للمنشأة كريشيا أو في بناء منفرد خاص بجانب المنشأة . في بعض المنشآت الإنتاجية الكبيرة في المنشآت الكيميائية وحسب شروط الانتاج يجب أن يكون قسم الآلات في بناء مستقل .

في كثير من الأحيان تتم تغذية محطة التبريد بالطاقة الكهربائية من محطة فرعية . في هذه الحالة يخصص مكان مستقل في قسم الآلات لتوضع المحولات وأنظمة التوزيع ولوحات التوزيع . مساحة غرفة الكهرباء تشكل حتى 30 % من المساحة الكلية لقسم الآلات .

إضافة إلى ذلك فإن قسم الآلات يجب أن يحتوي على مرجل مخصص لتدفئة غرف الإدارة والخدمة وتدفئة الغرف المخصصة لحفظ المنتج عند درجة حرارة موجبة مئوية . وعلى غرفة للصيانة ، مستودع القطع الاحتياطية والمواد اللازمة للاستثمار وغرفة جلوس واستراحة لعمال قسم الآلات ومكان للميكانيكي او رئيس القسم . قسم من هذه الغرف يمكن ان يتوضع خارج قسم الآلات .

الشكل (٢-٦) يبين تخطيطا لقسم آلات يحتوي على ضواغط مكبسية بمرحلة واحدة 1 ومجموعات انضغاط بمرحلتين مؤلفة من ضواغط مكبسية 2 (مرحلة الضغط العالي) وضواغط تربينية 3 . كل مجموعة تضغط بمرحلتين تحتوي على وعاء بيني 10 ، المكثفات الصندوقية الشاقولية 4 والخزانات الخطية 5 توضع خارج قسم الآلات على سطح مكشوف للسماء . في غرفة الأجهزة توجد خزانات دورانية شاقولية 7 وخزانات تصريف 6 و 8 وكذلك مضخات أمونيا 9

يتراوح ارتفاع قسم الآلات في المنشآت المتوسطة والكبيرة يجب أن لا يقل عن 4.8 m . ارتفاع الغرفة التي ستوضع فيها الآلات يحدد قبل كل شيء بارتفاع الآلات نفسها . إضافة الى ذلك يجب مراعاة إمكانية تركيب وصيانة التجهيزات . إمكانية توضع الات الرفع التي تسهل أعمال التركيب والصيانة . مثلاً عند تحديد ارتفاع قسم الآلات لتوضع الضواغط المحورية يجب أيضا عند ارتفاع المحرك أن يؤخذ طول المحامل مع ذراع التوصيل لأن هذين الجزأين يخرجان من الضاغط معا . وأيضا المسافة اللازمة للتمكن من رفع الاجزاء المذكورة .

Damascus University

بين عناصر التجهيزات وبين الآلات والجدران تحدد حسب قواعد الامن الصناعي ويجب أن تكون كالتالي :

عرض الممر الرئيسي بين الآلات والمسافة من منطقة التحكم والتوصيلات الكهربائية إلى الأجزاء البارزة للآلات لا تقل عن 1.5 m . والمسافة بين الأجزاء البارزة للآلات لا تقل عن 1 m اما بين الجدار والضاغط لا تقل عن 0.8 m إذا كان الممر لا يعد أساسيا للخدمة .

عند حساب المساحة الضرورية لتوضع الأجهزة المعزولة يلزم زيادة مقاييس الأجهزة بمقدار سماكة طبقة العزل وأن تكون المسافة بين الجهاز والجدار كافية للقيام بعملية العزل. لاختصار مساحة قسم الآلات يمكن أن يتم بالاستخدام الصحيح والسليم لحجم الغرفة. بعض الأجهزة يمكن أن تتوضع فوق بعضها (مثلاً الخزان الخطي يتوضع مباشرة تحت المكثف ، مبرد الهواء يتوضع مباشرة فوق الخزان ، يمكن توضع المبادلات الحرارية الصندوقية فوق بعضها بمستويات مختلفة وهكذا).

يمكن اختصار مساحة قسم الآلات بشكل ملموس وذلك بتركيب قسم من أجهزة محطة التبريد على ساحة مكشوفة بجانب البناية. على الساحات المكشوفة يمكن تركيب المكثفات الأنبوبية الصندوقية الشاقولية والتيميرية ، والمكثفات الكبيرة الهوائية ، إضافة إلى ذلك تتوضع خلايا الخزانات الحديدية ، فواصل السائل ، مجمعات الزيت في منشآت الصناعات الكيميائية جميع الأجهزة المغلقة لمحطات التبريد (وما في ذلك المبخرات، وفواصل السائل وخزانات التصريف) تركب على الساحات المكشوفة. بالاضافة إلى الاقتصادية في بناء الجدران فإنه عند مثل هذا التوضع تقل إمكانية حدوث الانفجارات (عند استخدام وسائط التبريد القابلة للانفجار) وكذلك حجم عواقب الانفجار .

٢- اختصار ما أمكن طول الانابيب. التوضع الصحيح للأجهزة يسمح باختصار المسافة وطول الأنابيب والتصاريف اللازمة للتركيب.

٣- ضمان خدمة مريحة للتجهيزات ولأجل هذا يجب أولاً دراسة مسألة الوصول إلى أمكنة الخدمة والممرات الكافية لذلك . أن يكون الوصول إلى الأجهزة التي تحتاج إلى مراقبة وتفحص دوري سهلاً ولا يجب أن تكون موضعة على ارتفاع يصعب عملية الخدمة . إذا كان من الضروري خدمة الجهزة على ارتفاع أكثر من 1.8m يتطلب ذلك رصيفا خاصا مع سياج وسلم .

ثانياً من أجل الخدمة المريحة للتجهيزات يتطلب الأمر الاهتمام بموضوع الاضاءة الطبيعية الكافية للعناصر التي تتطلب عناية وخدمة زائدة ولهذا السبب من الضروري أن تتوضع هذه التجهيزات في الأمكنة الأكثر إضاءة . تجهيزة التحكم والقياس يجب ان تكون أيضا مضاءة بشكل كاف وجيد .

٤- ضمان التركيب والإصلاح المريحين . عند توضع التجهيزات من الضروري دراسة إمكانية فكها وتوفير المكان الكافي لذلك للتمكن من إخراج أطول جزء من الآلة او الجهاز دون أن يعيق ذلك وجود التجهيزات المجاورة او العناصر الإنشائية للبناء (الجسور الأعمدة ...الخ) . بجانب الآلات والأجهزة يجب أن توجد مساحات غير مشغولة وكافية لتوضع الأجزاء المستقلة الكبيرة عند التركيب أو الفك من أجل الصيانة .

٥- ضمان إمكانية تموضع قسم الآلات . في أغلب الحالات قسم الآلات يُخطط على استطاعة تضمن عمل المنشأة في حال جاهزيتها بشكل كامل ولكن احيانا يتوضع فقط قسم من الأجهزة الضرورية لعمل المرحلة الأولى ولتجهيز المرحلة الثانية والمراحل اللاحقة تخصص لها المساحة الضرورية . تجهيزات المرحلة الأولى يجب أن تتوضع إذا لا تعيق توضع تجهيزات المرحلة الأخيرة ولا تغلق الممرات اللازمة لآلات النقل .

طريقة توضع خطوط الأنابيب البخارية تلعب دورا مهما في تخطيط قسم الآلات. توصيل الأنابيب يمكن أن يكون علوي أو سفلي عند التوصيل العلوي تمرر الأنابيب تحت السقف (وهذا أفضل) أو على ارتفاع ما كاف لمرور الأشخاص تحت الأنابيب ولا يعيق القيام بأعمال التركيب والصيانة . الشكل (٣-٦) يوضح مقطع غرفة ضواغط مع توصيل علوي.



الشكل (3-66) مقطع لغرفة الضواغط بتوصيل الخزان للأنابيب

عند التوصيل السفلي تتوضع الأنابيب تحت أرضية غرفة المضواغط أو في قنوات مشابهة في الأرضية . من مستوى التوصيل السفلي نشكل ما يسمى بالأكياس في الأمكنة الأكثر انحفاضا من الأنابيب والتي يتجمع فيها سائل وسيط التبريد عند العمل المحتمل للمنشاعمل بشوط رطب وهذا غالبا ما يشكل صدمة هيدروليكية، على الرغم من أن الأنظمة الحديثة مزود بحماية من العمل على الشوط الرطب واحتمال ظهور السائل في الأكياس يقل ولكن في بعض الحالات لا يستبعد تكاثف البخار في خطوط السحب وبالأخص في الأنابيب والمجمعات وبشكل فعال حدوث صدمة هيدروليكية، في مثل هذه الحالات من الضروري توصيل خط إلى خزان التصريف من أخفض نقطة لكل أكياس . الخزان يجب أن يتوضع بمستوى أخفض من الأكياس وذلك من أجل الجريان الذاتي للسائل المتشكل . هناك أيضا احتمال تكاثف البخار في أنابيب الدفع المارة خارج البناء وذلك في الفترة الباردة من السنة في هذه الحالة من الضروري توضع الأنابيب بميلان باتجاه المكثف وذلك لعدم السماح برجوع السائل المتكاثف إلى المضواغط وحمايتها من الصدمة الهيدروليكية .

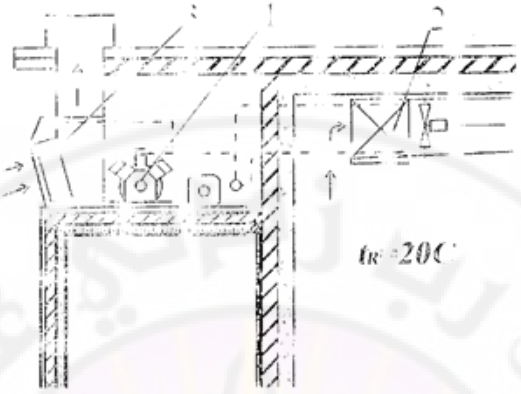
التوصيل العلوي أكثر ملائمة للمنحنيات غير الكبيرة و بالنسبة للمنحنيات الكبيرة فإن ذلك التوصيل يقلل من حجم أعمال البناء والتركيب. في الوقت نفسه فإن قسم الآلات في حال التوصيل العلوي يكون مرتفعاً ، معتمداً بذلك الأنابيب ، وفي أقسام الآلات التي تحتوي على آلات رفع (مثلاً رافعة جسرية) فإن الأنابيب تزود من الأعلى لتفادي أجزاء التجهيزات باستخدام هذه الروافع عند أعمال التركيب والصيانة .

التبريد المركزي للغرف باستخدام آلة تبريد مشتركة في قسم الآلات له بعض المساوئ مثل زيادة طول خطوط الأنابيب وتشعبها ، ووجود عدد كبير من محابس التحزيل ، صعوبة التركيب وزيادة تعقيد الأتمتة .

تشمل مخططات التبريد بشكل ملحوظ وتبديل الأتمتة فيهما يكون ممكناً في التبريد غير المركزي أو في أنظمة التبريد المستقلة للغرف . في هذه الحالة كل وحدة تبريد مستقلة تتصل مباشرة إلى جانب الغرفة التي تقوم بتبريدها في الكريدور أو النبهو أو في غرف صغيرة خاصة لهذا الغرض ويبدأ الشكل لم تعد هناك ضرورة لغرفة خاصة بقسم الآلات . عند ذلك يستخدم عادة نظام التبريد المباشر ومجموعة التبريد تعمل ضمنها على مبرد هواء التبريد الغرفة.

الميزة الهامة للتبريد غير المركزي هي امكانية استخدام تجهيزات المجموعات و هي بجاهزية عالية أثناء إنتاجها في المصانع . لتوضع تجهيزات التبريد تتفد مساحة لا حاجة لاستصالها من اجل السلع كما هو واضح في الشكل (٣-٥) إن مجموعة التبريد مركبة فرق تكريدور وتحتوي على ضاغط 1 مبرد هواء 2 مخصص لتبريد الغرفة، ومكثف هوائي 3. على الشكل (5-6) نرى مخططاً ، مقطعاً لبراد مقطع فاكهة سعة 500 T باستخدام التبريد غير المركزي الغرف (1،2،3) . مجموعات تبريد تتبع خارج غرفية تحت المظلة 4. الغرفة 5 مخصصة للفرز والتصنيف. تبريد الغرف يتم بالهواء ودون مجاري للدفع . من الملائم استخدام التبريد غير المركزي للبرادات ذات السعة حتى 2000 T. عند حساب الأحمال الحرارية للغرف ذات التبريد غير المركزي يجب عدم الحمولة الحسابية على الضاغط مساوية للحمولة الحسابية الحاصلة على تجهيزات الغرفة .

نتيجة لذلك عند التبريد غير المركزي فإن مجمل الاستطاعة التبريدية الحاصلة يمكن أن تكون أكبر من التبريد المركزي .

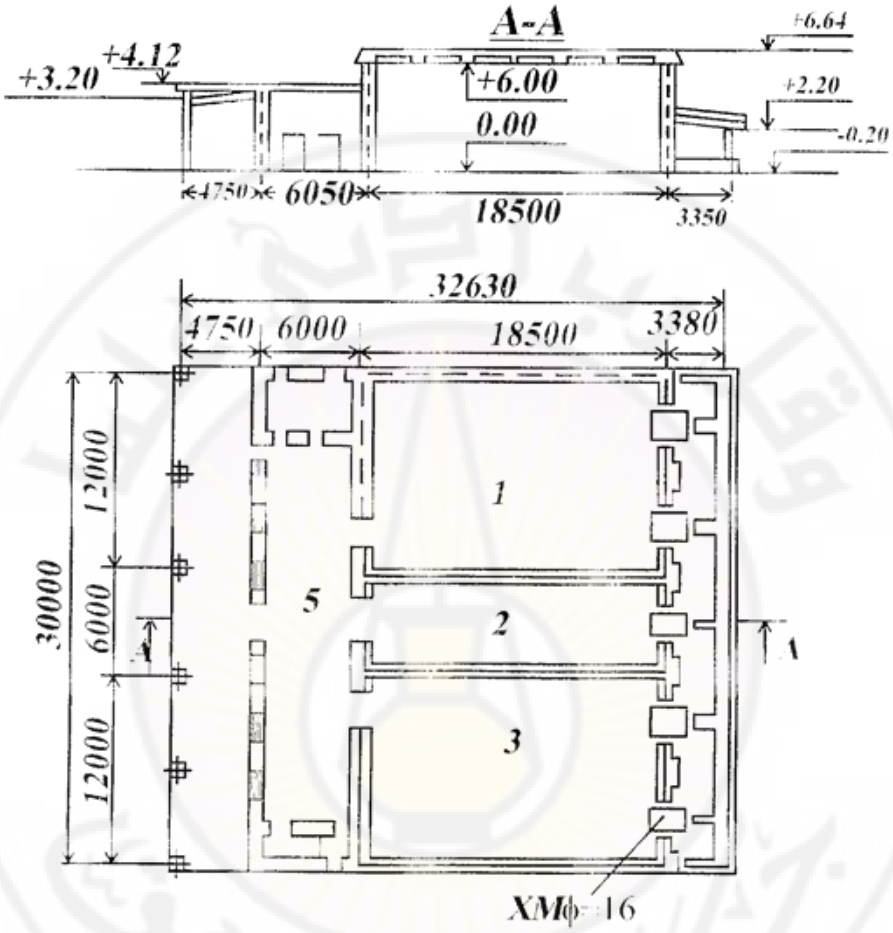


الشكل (6-4) توضع وحدة التبريد في الدريدور الفني عند التبريد غير المركزي لمراوح حيد الدابق

في المحطات الكبيرة ذات الضواغط التكبسية نلاحظ أحياناً وجود اهتزازات قوية للأنابيب الدفع ناتجة عن نبضات ضغط البخار . عندما يكون طول الأنبوب كبيراً وعدد الأكواع كبيراً فإن الاهتزازات يمكن أن تؤدي إلى تحطيم مثبتات الأنابيب، وكذلك مكان مرور الأنابيب في الجدران وعواقب أخرى غير مرغوب فيها .

في حالة الضرورة نستخدم مخمدات الاهتزاز (أحياناً يمكن استخدام الاهتزازات في فاصل السائل المتوضع قرب الضواغط . عند تخفيض السرعة في الرعاة التي 10.5 m/s).

يتطلب الأمر تجنب زيادة عدد الأكواع وانجازها ما أمكن بنصف قطر كبير .



الشكل (5-6) مخطط ومقطع مخزن قواعد سعة ٥٠٠ طن بتوزيع غير مركزي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السابع

أسس المعالجة التبريدية وتخزين المنتجات الغذائية

٧ ـ ١ ـ مفاهيم أساسية

سرعة حركة الهواء في غرف تخزين المنتجات المبردة تتراوح (0,1 : 0,3 m/sec) وحتى تصل حتى (0,5 : 0,8 m/sec) .

تزيد سرعة الهواء تزداد جودة التكييف ، وتنخفض فقدة الرطوبة ، يعني ذلك زيادة جفاف المنتجات الغذائية .

تحدد درجة حرارة المنتجات المجمدة بعدة عوامل منها نوع المنتج ، مدة التخزين ، فقد الرطوبة المسموح بها (12 : 18)° ف .

عند درجة حرارة التخزين المنخفضة تحفظ على جودة المنتج لفترة أطول ، من الممكن تخفيض درجة حرارة التخزين وبالأخص المنتجات المعرضة بشكل خاص للأكسدة ، هذا بسبب الدرجة الأولى للأمان والتي تكون عند درجة حرارة (32)° ف .

تخزين المنتجات المبردة يتم بنسب مختلفة بين درجة الحرارة والرطوبة النسبية التي تبين في الجدول :

درجة الحرارة (ف)	٤٠	٣٥	٣٢	٣١	٣٠
الرطوبة النسبية %	٨٠	٨٦	٨٨	٩٢	٩٣

عند تخزين المنتجات المجمدة يتم الحفاظ على درجة حرارة أقل بكثير منها عند تخزين المنتجات المبردة ، وعند ذلك في الظروف الجوية الرطبة يحدث تكثيف للماء ، يتكتل بسهولة يعد الخبرات الخبيرة في التجميد .

تجمد المنتجات في وقت قصير يحافظ لتوجد في حجم صغير وتكون كميات بنفس الخبرات الخبيرة بهدف فقدة مدة التخزين ، المنتجات تغليف لتحكم الذي يعزل المنتجات عن الغير ، يكون في هذه الظروف نفس درجة الحرارة هي نفس الغلاف المنتج .

يتسبب تخزين الكثير من المنتجات غير المغلفة عند وجود في مرحلة الأشعة تهوية والمساعد حركته ، الأمن غير المسموح بها المناطق ركدة مرطوبة نسبيا عدة أن الأحياء الدقيقة تنمو بسرعة عند مرحلة الإشعاع المرطبة .

عند تخزين المنتجات المبردة يكون الجفاف أكثر بمعدل ٥ إلى ٦ مرات منه عند تخزين المنتجات المجمدة أن إمكانية تهوية الأشعاب الرطوبة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

عند درجة حرارة تخزين -20 °C - بالنسبة لمعظم المنتجات المجمدة فإن الأحياء الدقيقة لا تنمو ، أما الإجراءات التخميرية تذبح بقوة .

نوعية طعم المنتج تتعلق بدرجة حرارة التخزين ، كلما كانت درجة الحرارة أقل كلما كانت مدة التخزين أطول مع الحفاظ على نوعية الطعم .

اقترح الباحث ريوتوف (Rutov) صيغة تعطي إمكان حساب مدة تخزين المنتجات المجمدة (بالأشهر) في مجال درجة حرارة من -6 °C - وحتى -20 °C -

$$\tau = A.10^{-0.05t}$$

إذ :

A : معامل تجريبي لمختلف المنتجات (للبقر والغنم A = 2,15 ، للخنزير الغير سمين A = 1,78 ، للحم الطيور A = 1,58 ، للحم الأوز والأرانب A = 1,26 ، للسمك غير الكبير A = 1,78 وللسمك الكبير A = 1,58) .

t : درجة حرارة التخزين .

المدة المسموحة لتخزين الزبدة تحسب بالعلاقة :

$$\tau = 2.85 \times 10^{-0.05t}$$

إلى جانب ذلك فإن تخزين المنتجات في الغرف المبردة بالبطاريات مع الحمل الطبيعي للهواء له بعض العيوب ، الرطوبة النسبية للهواء في غرف تخزين المنتجات المجمدة لا تنظم اصطناعياً إذا لم يكن هناك تجهيزات خاصة ، وتستقر تلقائياً عند مستوى (٩٥ ÷ ١٠٠%)، وذلك يتعلق بالشروط المترتبة في الغرفة ، بنتيجة التأثير المتبادل لإجراءات التبادل الحراري بين المنتج وأجهزة التبريد .

المبادئ العامة لاختيار أنظمة تخزين المنتجات المبردة والمجمدة وكذلك التجهيزات التبريدية وأنظمتها المبرّدة التي تضمن تقليل جفاف المنتجات صاغها تشيغوف (Chigov) وتشوكلين (Chookien) .

المبدأ العام الأول هو الشدة الزائدة بثبات وتجانس درجة الحرارة، السرعة و الرطوبة النسبية للهواء . إذا تغيرت أي من الشروط الخارجية التي تؤثر على هذه البارامترات في الغرفة فمن الضروري تعويضها بشكل ما إذ لا يحدث خلل بنظام الغرفة .

ن تغليف المنتجات الغذائية يؤثر فعلاً على الجفاف . يعتبر تكييف الهواء
، وتغليف يحد كثيراً من الجفاف الخارجي والجفاف الداخلي للمنتج .
عندما تكون الأغلفة من مواد غير نفوذة للبخار، في حال توافر الشروط المحكمة لإحكام
الأغلفة للمنتجات عند ذلك يتم حجب الجفاف للمنتجات بشكل كامل .
في هذا المجال مواد التغليف لها قدرة عالية للبخار تحفظ المنتج من الجفاف الخارجي ، لأنه
يحصل اختلاف بخار الماء بين الوسط المحيط ، عند استخدام مواد التغليف غير النفوذة للبخار
والتكييف غير مناسبة يحكم المنتج يحفظ حدوث جفاف داخلي نتيجة تكاثف البخار الرطوبة
على سطح الداخلي للمادة المغلفة .
تعتبر درجة حرارة التخزين مستقر للتكاثف بشكل أفضل عندما يتم التخزين بدرجة حرارة
منخفضة عند تعزيز وزن المنتج المغلف .
عند اختلاف درجة حرارة الوسط المحيط في درجة حرارة السطح الداخلي للمادة المغلفة
تصبح المغلف رطب أقل من درجة حرارة نقطة الندى، عندما يحصل في الغلاف ( ) يحصل تساقط الندى على الغلاف ، وارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط فيصل الجزء
داخل الغلاف تحت درجة الندى تتعكس .
عند تلك درجة الحرارة في مقياس فارنهايت تحت على سطح المنتج تزداد درجة حرارتها
تصبح أقل من درجة حرارة الندى الموجودة المنتج وتقترب من درجة حرارة الغلاف ، وهذا
يؤدي إلى تصعد الماء من المنتج .
إن هذه الحالة تشكل الخلل داخل الغلاف يجعلان شروط التخزين ، المغلفة المطلوبة توازن
المنتج تعد المادة التخزين الجيد يستوجب استقرار درجة الحرارة في غرف التخزين ، كلما
كانت درجة حرارة التخزين أقل ، كلما استقرارية كانت المنتجات أقل .

٣ ـ ٧ ـ المعالجة التبريدية للمنتجات الغذائية :

١ ـ ٣ ـ ٧ ـ التبريد :

تزيد فترة تخزين المنتجات ، الحفاظ على درجة حرارة قريبة من
درجة تجمد الكريوسكوبية ، درجة تجمد الكريوسكوبية تعني درجة الحرارة التي يبدأ
عندها تشكل بلورات الجليد من عصائر الأنسجة ، بعض المنتجات تبرد وتخزن بحالة زيادة

التبريد ، عند درجات حرارة أقل من درجة الحرارة الكريوسكوبية بمعدل (3 ÷ 1 °C) .

إن طريقة وسرعة تبريد المنتج تؤثر في نوعيته عند التخزين الذي يلي ذلك .

تبرّد المنتجات بالهواء ، في المحالين السائلة ، في الجليد الذائب أو تحت التخلخل .

تبرّد اللحوم في وسط هوائي بوضع معلق . بهدف كبح نمو النباتات الدقيقة يجب إدخال اللحوم إلى التبريد بسرعة بعد المعالجة الأولية وذلك لكي تتصلب الطبقة السطحية لأنصاف الذبائح بالسرعة الممكنة بتأثير درجات الحرارة المنخفضة .

إن التبريد بعد الذبح مطلوب ليس فقد بهدف كبح الإجراءات التخميرية ونمو الأحياء الدقيقة ، لكن لاستخلاص كمية الحرارة الكبيرة بعد الذبح الناتجة عن الإجراءات البيوكيميائية (حتى 23.5 kJ/kg) .الطرح غير الملائم و المتطور لهذه الحرارة يمكن أن يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة بمعدل (7,9 °C ÷ 3,3) ، وهذا كثيراً ما يؤدي إلى تلف اللحم .

من أجل حصول إجراءات تشقق الأجزاء المؤلفة لنسيج العضلي تحت تأثير الخمائر الكائنة فيها والوصول إلى الصلابة الضرورية يترك اللحم عند درجة حرارة 12 °C لمدة 15 ساعة أو يعالج بالتيار الكهربائي ، عند ذلك يمكن اشتراك عدة عمليات تكنولوجية :

التقطيع ، التصنيف ، التغليف ، وضع العلامات وتصفيف اللحم في صناديق .

فترة التبريد يجب أن تكون أصغرية وذلك لضمان فقد أصغري في الوزن والحصول على لون جيد للحم . عند ذلك تصبح مؤشرات الطعم والنوعية أعلى .

٢ – ٣ – ٧ – **التجميد الخفيف :**

المنتجات الخفيفة التجميد (زائدة التبريد) هي المنتجات التي تكون درجة الحرارة الحجمية الوسطية لها أقل من درجة الحرارة الكريوسكوبية بمعدل (3 °C ÷ 1). يُلجأ إلى التجميد الخفيف في الحالات التي يكون عندها من الضروري إطالة مدة تخزين المنتجات الغذائية ، عند ذلك تُحفظ الخواص المستقلة بشكل جيد ولا تتغير نوعية المنتج بشكل ملحوظ .

التبريد الزائد يمكن أن يعدّ حلقة بينية بين التبريد وتخزين المنتجات المبردة ، بعد غرفة التبريد يدخل المنتج الزائد التبريد الى غرفة التخزين بدرجة حرارة 2 °C- ، وبمرور الزمن تتساوى درجة الحرارة في كامل حجم المنتج .

فمثلاً اللحوم الخفيفة التجميد هي اللحوم التي تكون درجة الحرارة الحجمية الوسطية أقل بمقدار (٢ ° C) من درجة الحرارة الكريوسكوبية ، وهذا يؤدي إلى تحول جزيئي للماء المرتبط في اللحم إلى جليد ، وبذلك يصبح اللحم مرن وعند الضغط لا يكسر ويمكن شحنه وتخزينه في أكياس .

اللحم الخفيف التجميد يستخدم من اجل الصناعات التحويلية في مصانع اللحم التي تنتج قطع كبيرة وصغيرة لمصانع مصنعة ، إنتاج المرتديلا والأغذية الجاهزة .

٣ – ٣ – ٧ – التجميد :

عند تجميد المنتجات الغذائية فان السائل النسيجي الموجود في المنتج يتحول إلى جليد نتيجة تخفيض درجة الحرارة إلى أقل من النقطة الكريوسكوبية .

يلجأ إلى تجميد المنتجات الغذائية عادة لتحقيق بعض الأهداف :

١ – تأمين صلاحية المنتج في فترة التخزين الطويل عند درجة حرارة منخفضة .

٢ – الفصل الرطبة عند تركيز عصائر الفواكه والمنتجات الغذائية السائلة الأخرى أو عند تجفيف المنتجات بالتسعيد .

٣ – إنتاج المنتجات بطعم متميز (البوظة ، الثمار المجمدة) .

عند انخفاض درجة حرارة المنتج من ٠ °C حتى -٥ °C يحصل التجميد ، ومن -٥ °C وما دون تحصل زيادة تجميد .

عند تخفيض درجة حرارة المنتج الى أقل من درجة حرارة تجمد السائل النسيجي تنشاطاً التفاعلات الكيميائية وينشاطاً كذلك النمو والنشاط الحيوي لكثير من الأحياء الدقيقة .

ولكن تحول السائل النسيجي إلى جليد عند تجميد المنتج يؤدي إلى تغيرات فيزيائية – كيميائية تؤثر في نوعيته .

من أجل الوصول إلى اقل ما يمكن من التأثيرات الضارة لدرجات الحرارة المنخفضة في المنتج يجب اختيار أنظمة وأساليب تجميد محددة. في أنظمة التجميد تدرس القيم المثلى لدرجة الحرارة وسرعة الوسط المبرد ومدة إجراءات التجميد .

الطرق الأساسية للتجميد في التكنولوجيا التبريدية الحديثة تقسم إلى تجميد في وسط سائل (محلول) بأسلوب التلامس أو بدونه ، تجميد في وسط هوائي بشكل بطيء أو مكثف وسريع .

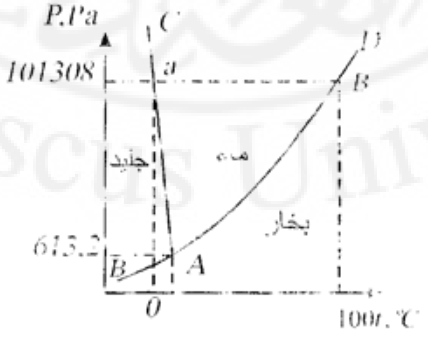
تقسم طرق التجميد بناء على أساس سرعة التجميد ، فقد المنتجات بسبب الجفاف ، الحفاظ على نوعية المنتج ، مصادر القوة العاملة ، وتوافق الطريقة المستخدمة مع متطلبات السلسلة التبريدية.

٤ ـ ٢ ـ ٧ ـ التجفيف التصعيدي :

تجفيف المنتجات بالتصعيد يعتمد على إمكانية تبخر الجليد عند شروط محددة دون المرور بالطور السائل (انظر الشكل ١ ـ ٧) .

على الشكل (١ ـ ٧) تتضح حالة الماء كتابع للضغط ودرجة الحرارة ، على اليسار من الخط (BAC) يقع مجال الطور الصلب (الجليد) . الخط (BAC) يعتبر الحد الذي يفصل على الجزء AC الطورين الصلب (الجليد) والسائل (الماء) ، أما على الجزء BA يفصل الطورين الصلب والغازي (البخار) . على الجهة اليسرى من الخط BAC يوجد دائما جليد ، على الجهة اليمنى من النقطة A التي توافق ضغط 613.2 Pa يوجد ماء ، أما تحت النقطة A يوجد بخار .

في النقطة A التي تسمى النقطة الثلاثية يمكن أن توجد الأطوار الثلاثة (الصلب ، السائل والغازي) في وقت واحد . بهذا الشكل فإن التجفيف بالتصعيد ممكن في الحالة التي يكون عندها ضغط البخرة الوسط المحيط أقل من ضغط النقطة الثلاثية .



الشكل (١ ـ ٧) : مخطط التوازن الطوري للماء .

أفضلية التجفيف بالتصعيد تكمن بتحول الجليد إلى بخار بدون المرور بالحالة السائلة ، وهذا البخار يمتص من قبل الوسط المحيط أو يتكاثف على السطح البارد المبخر عند ذلك لا يحدث انكماش للمنتج . أي أن مقاييسه الخطية تبقى ثابتة . عند ترطيب هذا المنتج قبل الطهي يملأ بسرعة المسامات في الأمكنة التي سُحِّد منها الجليد . نوعية الطعم للمنتجات المرطبة لا تختلف كثيرا عنها في الحالة البدائية .

طريقة التصعيد مكلفة أكثر من الطريقة الحرارية ولذلك من المناسب تصعيد المنتجات الغذائية التي لا يمكن تجفيفها بطريقة التجفيف الحراري دون حدوث فقد بالنوعية .

٥ – ٣ – ٧ – التسخين وإزالة التجميد :

عند إخراج المواد من مستودعات الخزن بعد انتهاء التخزين ، عادة ما تتطلب إجراء تكنولوجي خاص كتلك التي تستخدم لتبريد وإزالة التجميد للمنتجات المجمدة .

إذا أخرج المنتج من غرف التخزين الى مكان ذي درجة حرارة عليا يلاحظ تكاثف قطرات الندى على سطحه الخارجي . يحصل ذلك عندما تكون درجة حرارة سطح المنتج أخفض من درجة حرارة نقطة الندى للهواء المحيط بالمنتج . يؤدي تكاثف الماء في مثل هذه الحالة إلى انتفاخ المنتج وتلوثه بالأحياء الدقيقة وبالتالي فساده ميكروبيولوجيا .

تُجرى عمليتا التسخين وإزالة التجميد على المواد الغذائية قبل إخراجها من أجل تصنيعها أو طبخها واستخدامها . وهدف هاتين العمليتين إعادة المنتجات إلى حالة قريبة من حالتها البدائية قبل التبريد أو التجميد .

تُجرى عملية التسخين في غرف مجهزة لدوران الهواء المعالج ، كما يمكن أن تُجرى في غرف الخزن نفسها بعد إدخال التجهيزات اللازمة .

يُرسل الهواء لتسخين المنتجات بعد المعالجة . وعادة ما يكون جافا لحد ما للحيلولة دون وصول درجة حرارة سطح المنتجات إلى درجة حرارة نقطة الندى ، وفي الوقت نفسه يجب ان لا يكون جافا كثيرا لأنه يزيد من جفاف المنتج المعالج .

تتم عملية إزالة التجميد بإحدى الطرق التالية :

١ ــ إزالة التجميد البطيئة ، باستخدام الهواء بدرجة حرارة (14 °C ÷ 0) .

٢ ــ إزالة التجمد السريعة ، باستخدام الهواء بدرجة حرارة (+15 : +20 °C) .

٣ ــ إزالة التجمد باستخدام البخار مع الهواء بدرجة حرارة (+25 : +40 °C) .

٤ ــ إزالة التجمد بالماء أو بالمحاليل بدرجة حرارة 20 °C .

٥ ــ إزالة التجمد بالأمواج الكهرومغناطيسية .

تُجرى عملية إزالة التجمد وفقاً لمنحنى يعكس عملية التجميد . وتكون أبطأ من عملية التجميد عند نفس فرق درجات الحرارة ، وفي هذه العملية تختلف ظروف انتقال الحرارة عنها في عملية التجميد .

فعند التجميد تنتقل الحرارة إلى الوسط التبريدي من عمق المنتج عبر الطبقة المتجمدة . أما في حالة إزالة التجميد فإن الحرارة تنتقل إلى عمق المنتج عبر الطبقة التي أزيل تجميدها ، وبالتالي فإن معامل التوصيل الحراري لإزالة تجميد المنتج أقل بمعدل (2,5 – 2) مرة منه في حالة التجميد . ولذلك عند الفرق الكبير بدرجات الحرارة بين المنتج والوسط المحيط يصبح من الممكن ظهور سطوح مكسية زائدة التسخين وهذا يؤثر سلباً في نوعية المنتج .

يمكن عد عملية إزالة التجميد منتهية عند الوصول إلى درجة الحرارة الكرايوسكوبية في مركز المنتج .

كمية الحرارة لعملية إزالة التجميد الكاملة للمنتج تحقق بكتلته ونسبة الماء المذاب . ويمكن أن تحسب بالعلاقة :

$$Q = G\left[c_1(t_{Kr} - t_1) + 335W\omega + C(t_2 - t_{Kr})\right]$$

إذ :

G ــ كتلة المنتج (kg) .

C_1 ــ الحرارة النوعية للمنتج قبل إزالة التجميد (KJ/ Kgk) .

c ــ الحرارة النوعية للمنتج بعد إزالة التجميد (KJ/ Kgk) .

t_{Kr} ــ درجة الحرارة الكرايوسكوبية للمنتج (°C) .

T_1 ــ درجة الحرارة البدائية للمنتج (°C) .

T_2 ــ درجة الحرارة النهائية للمنتج (°C) .

W ــ محتوى الماء (جزء من الواحدة) .

Ω ــ نسبة الماء المتجمد (جزء من الواحدة) .

وبالتالي فمن الواضح أن كمية الحرارة Q اللازم إيصالها إلى المنتج لإزالة التجميد تتألف من كمية الحرارة Q_1 اللازمة لرفع درجة الحرارة من t_1 وحتى t_{kr} وكمية حرارة الإذابة Q_2 وكمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة من t_{kr} حتى t_2 داخله . أي أن :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

لأجل حساب مدة إزالة التجميد ينصح الباحث تشيجوف باستخدام الصيغة التالية :

$$\tau = \left[\frac{\Delta i_p}{\Delta t} \delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right) \right] k.m$$

إذ :

τ — الزمن اللازم لإزالة التجميد (h) .

k — معامل يراعي شكل المنتج (للبقر $k = 0.56$)

m — معامل يراعي المرحلة الأولى لإزالة التجميد ($m = 1.3$)

ρ — الكثافة النوعية للمنتج ($Kg\ m^{-3}$) .

٤ ــ ٧ ــ تصنيف غرف المعالجة التبريدية للحوم :

تصنيف غرف المعالجة التبريدية يتعلق بشكل طرح الحرارة من السلع وبطريقة التسخين والمكننة وهذا ما يوضحه المخطط التالي :

في مجفف تجميد غرفة التجفيد يتم تسخين المنتج بالطرق التالية:

التحمل (Conduction) + الإشعاع (Radiation) + الحمل (Convection) + التسامي (Sublimation) + التبخر (Evaporation) من سطح المنتج بشكل منفصل (Desorption) عن سطح الجزء المجفف. في الشكل التالي نلاحظ في غرفة تجفيد التجميد الطرق المختلفة لتسخين المنتج داخل غرفة التجفيد.

حسب المخطط نلاحظ غرفة من غرفة مثل فاكيوم وهي مغلقة بإحكام.

حسب غرفة تحتوي على تجميد من غرفة مبردة وغرفة من نوع (فراغ). وهذه الغرفة من المستحسن أن تكون مبردة بحيث تبرد بمعدل سريع بمقدار (1° - 1 hour) بحيث تختلف معدل (30 - 40°C).

حسب الشكل المخطط يحتوي كل رف على مقياس حرارة وهو يقوم بقياس درجة حرارة المنتج بشكل مباشر ويتم التحكم بدرجة حرارة الرف بشكل دقيق وهذا يساعد في تحديد درجة حرارة المنتج.

في مخطط التجفيد نلاحظ مضخة تفريغ من أجل تفريغ الهواء من غرفة التجفيد. تحتوي غرفة التجفيد على مقياس حرارة وهو يقوم بقياس درجة حرارة المنتج بشكل مباشر ويتم التحكم بدرجة حرارة الرف بشكل دقيق وهذا يساعد في تحديد درجة حرارة المنتج (3.33×10^{-2}) من

الأرض وتعلق عليها أنصاف الذبائح التي تُبرّد بهذه الحالة وبعد ذلك تُحوّل إلى غرف التخزين أو إلى غرف التجميد .

في صناعة اللحوم كقاعدة يؤخذ المعدل لوسطي للحمولة على (1 m) من طول الخط المعلق كالتالي :

من أجل لحوم البقر بشكل أنصاف ذبائح ذات كتلة أقل من (60 Kg) يؤخذ معدل الحمولة (225 Kg) ، ولأنصاف ذبائح ذات كتلة (60 Kg) وما فوق يؤخذ المعدل (280 Kg).

الحمولة على $1\ m^2$ من مساحة الأرض تؤخذ (200 ÷ 250 Kg) .

تُستخدم أنظمة تبريد إشعاعية وكذلك أنظمة تبريد هوائية ــ إشعاعية ، عند التبريد بالنظام الهوائي ــ الإشعاعي إضافة إلى مبردات الهواء تتوضع بين أنصاف الذبائح أجهزة تبريد (بطريات) ، وهذا يزيد من قيمة معامل انتقال الحرارة على حساب المركبة الإشعاعية . التيار الحراري الإشعاعي يمكن أن يشكل (30 ... 40 %) من التيار الحملي ، وبفضل ذلك فإن الفقد في كتلة المنتج بهذا النظام أقل بمعدل (20 ÷ 25 %) بالمقارنة مع نظام التبريد الهوائي .

من المناسب اكثر إدخال التبريد الذي يتم خلاله تناقص معامل انتقال الحرارة بشكل أسي ، وهذا يمكن تحقيقه بتخفيض سرعة حركة الهواء من (4 : 6 m/s) في بداية الإجراء إلى (0,3 ÷ 0,5 m/s) في النهاية .

إن انتقال الحرارة بالإشعاع غير مرتبط بانتقال الكتلة وذلك لا يؤثر في قيمة جفاف اللحوم .

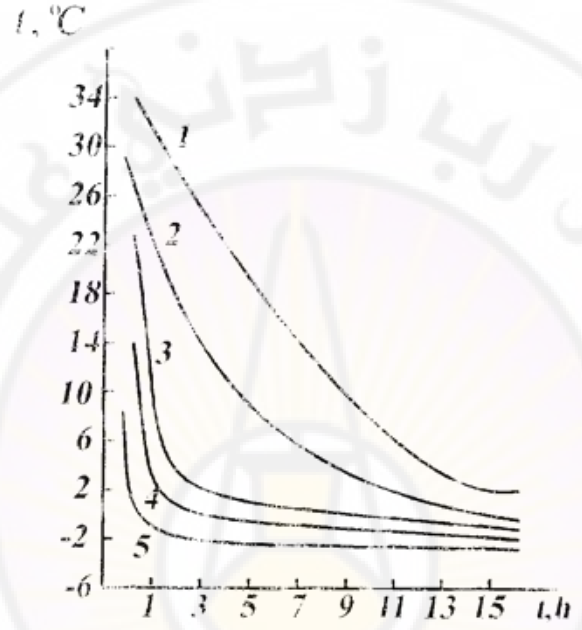
٥ ــ ٧ ــ المعالجة التبريدية وتخزين لحوم المواشي :

١ ــ تبريد اللحوم بشكل ذبائح كاملة أو أنصاف ذبائح :

تُبرّد اللحوم التي تكون على هيئة ذبائح كاملة أو أنصاف ذبائح بشكل معلق على خطوط معلقة . على الخط المعلق تتوضع الذبائح ذات الصنف الواحد والمتشابهة من حيث الكتلة .

اللحوم بحالتها الفائقة توجه إلى التبريد . في لحظة دخول اللحوم إلى الغرفة تكون درجة الحرارة في الأقسام المختلفة للذبيحة غير متساوية (انظر الشكل ٢ ــ ٧) . عند التبريد تنخفض درجة الحرارة بشدة أكبر في بداية الفترة على السطح وفي الطبقات الأقرب منه . عند ذلك فإن الأجزاء الأكثر رقة من أنصاف الذبائح (أطراف الذبيحة) تبرد بسرعة أكبر .

ولذلك لتكثيف اجراء التبريد للأجزاء الأمامى الأكثر سماكة يتم تدليك الوسائط التقنية إلى تبدو الأجزاء الفخذية في المنطقة الأكثر المحاطة بدرجة الحرارة وإعادة العملية للتماثل المحوري بالحمل والإشعاع .



الشكل (٢ ــ ٧) : تغير درجة الحرارة في اجراء تبريد لنصف ذبيحة كبيرة

١ ــ في مركز الفخذ ، ٢ ــ في الفخذ على عمق 6 cm

٣ ــ على سطح الفخذ ، ٤ ــ على سطح الصدر ،

٥ ــ على سطح الأطراف .

إذا استمر اجراء التبريد أكثر من ٢٤ ساعة يسمى تبريداً بطيئاً ، وإذا استمر أقل من ذلك يسمى تبريداً سريعاً . التبريد السريع حسب جميع المؤشرات يملك الأفضلية على التبريد البطيء .

المدة الزمنية اللازمة لتبريد أنصاف ذبائح البقر بكتلة حتى 110 Kg ، الخنازير حتى 45 Kg والضأن بشكل ذبائح كاملة حتى 30 Kg حسب طريقة التبريد مدرجة في الجدول (٢ ــ ١).

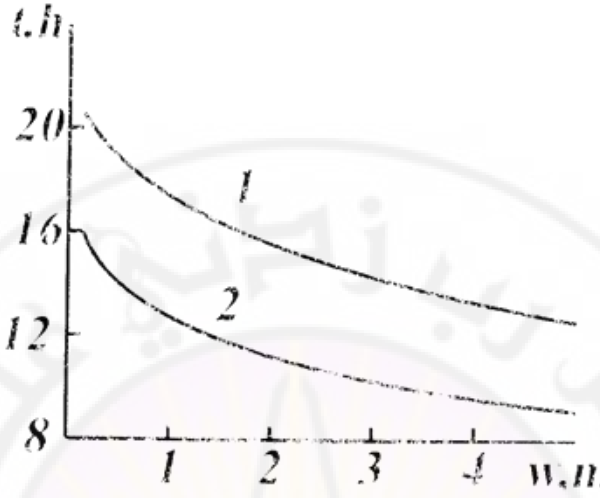
الجدول (١ ــ ٧)

طريقة التبريد (درجة الحرارة)	درجة حرارة الهواء C°	سرعة حركة الهواء m/s	درجة حرارة اللحم C°		مدة التبريد كحد أعلى (h)
			البدائية (كحد أدنى)	النهائية (في مركز الفخذ)	
تبريد جميع أنواع اللحوم					
... البقر	٢ ـ	0,8	٣٥	٤ ÷ ٠	١٦
... الخراف	٣ ـ	0,8	٣٥	٤ ÷ ٠	7

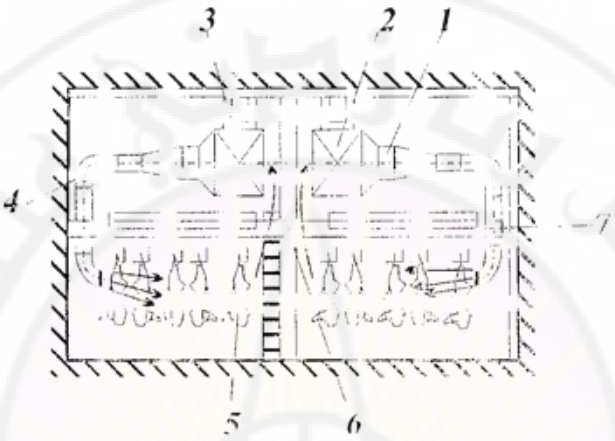
يعد اللحم مبردا إذا وصلت درجة الحرارة في مركز الفخذ الى (4 °C ... 0) .

إن تخفيض درجة حرارة الهواء وزيادة شدة حركته يؤديان الى تقليل ماحوظ لمدة التبريد الشكل (٢ ... ٧) وللجفاف .

تستخدم طرق تبريد أخرى أكثر شدة من المدرجة في الجدول (١ـ٧). عند سرعة ثابتة لحركة الهواء خلال غرفة التبريد فإننا نحصل على أكبر فعالية برفع قيمة السرعة حتى 3 m/s ، ازيادة السرعة بعد ذلك يؤدي تأثيرا غير ملحوظ . من الخطر استخدام درجة حرارة هواء اقل من (ـ 13 ... ـ 10) نظرا لإمكانية حدوث تبريد زائد للحم (تجميد خفيف) .


t,h
20
16
12
8
1
2
1
2
3
4
w,m/s

السقف المستعار عبارة عن تصميم انشائي خفيف من الخشب أو البلاستيك ومواد أخرى وهو مخصص لتنظيم حركة الهواء .



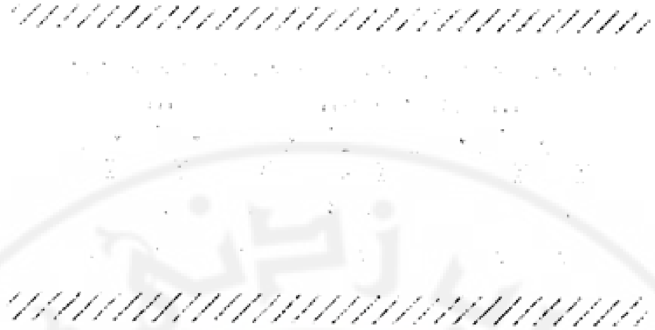
الشكل رقم (٤ ـ ٧) : توضع مبردات الهواء فوق السقف المستعار

١ : مروحة ، ٢ : مبرد هواء ، ٣ : حامل لتعليق المبرد ، ٤ : مجرى دفع الهواء ، ٥ : اضواء النيانج ، ٦ : فتحات في السقف المستعار لسحب الهواء الداخل من الغرفة ، ٧ : السقف المستعار

إن وجود السقف المستعار (الشكل ٤ ـ ٧) يحقق تبريداً أكثر تجانساً لجميع النيانج .

يستخدم بشكل واسع نظام التوزيع الهوائي (الشكل ٤ ـ ٧) .

الهواء المبرد في مبرد الهواء حتى (٧ °C - ... 5 -) يساق إلى مجرى هوائي ويخرج عبر فوهات ذات مقطع دائري (بقطر 50 mm عند توضع ستة فوهات لكل 1 m من مجرى الهواء) بسرعة (8 ... 10 m/s) إلى فراغ الغرفة . يفضل الاختلاط الجيد بهواء الغرفة يسخن تيار الهواء المدفوع مما يجنب التبريد الزائد للحرم .



شكل ([illegible]) [illegible]

[illegible]

[illegible] (شكل [illegible]) [illegible] تركيب [illegible] الخطوط [illegible] بالمقارنة [illegible] شكل([illegible]) [illegible]



شكل ([illegible]) [illegible]

أ) [illegible]

ب) [illegible]

[illegible]

٢ ـ تبريد الأحشاء :

تُبرَّد الأحشاء حتى درجة حرارة (4 °C . . 0) في غرف عند درجة حرارة هواء من 2 °C حتى 1 °C – أو في أنفاق عند درجة حرارة هواء 1 °C – تجهز الغرف بخطوط معالقة ، مبادلات ، مبشابب ، وبرفوف . أما أنفاق التبريد تجهز بنواقل وعربات ناقلة ذات رفوف . يستغرق زمن تبريد الأحشاء في الغرفة 24 h ، وفي النفق 1 h .

٣ ـ تخزين اللحوم المبرّدة بشكل ذبائح كاملة او أنصاف :

تخزن اللحوم المبردة بشكل ذبائح كاملة أو انصاف في غرف على خطوط معلقة .
يمكن تخزين لحم البقر بشكل أرباع او بشكل قطع . أما لحم الخنزير بشكل أنصاف يمكن أن يخزن بشكل معلق في صناديق عامة .
تخزن اللحوم عند درجة حرارة هواء (1 °C - . . 0) ورطوبة نسبية 85 % .
رغم ان زيادة الرطوبة تمكّن من الحد من الجفاف قليلا الا أنها ملائمة لنمو الأحياء الدقيقة على سطح اللحم وهذا أمر غير مرغوب فيه .
ان معدل سرعة هواء (0.2 m/s ... 0.1) يجنب تشكل مناطق راكدة بدرجة حرارة ورطوبة كبيرتين . يتم خلال إجراء التخزين تنظيم درجة حرارة ورطوبة الهواء . مدة التخزين المسموحة للبقر لا تزيد عن ١٦ يوما وللعجول وللخنزير والخرفان لا تزيد عن ١٢ يوما .

٤ ـ تخزين الأحشاء المبردة :

تخزن الأحشاء المبردة في غرف عند رطوبة نسبية للهواء لا تزيد عن 80 % ودرجة حرارة (1 °C - : 0) . مدة التخزين يجب ألا تتجاوز يومين . أما عند درجة حرارة (4 °C - : 0) يوم واحد .

٥ ـ التبريد الزائد (التجميد الخفيف) للحوم :

[illegible]

[illegible]

جدول ([illegible])

درجة حرارة الهواء (°)	زمن استمرار اجراء التبريد الزائد بالساعة حسب درجة التهوية					
	حركة طبيعية		حركة قسرية			
	بقر		غنم وعجول			
	طبيعية	قسرية	طبيعية	قسرية		
٢٠	١٤	١٠	١٢	٨	٥	٤
٢٥	١٢	٨	١٠	٦	٤	٣
٣٠	١٠	٦,٥	٨	٥	٣	٢
٣٥	٨,٥	٥	٦	٣	٢	١,٥

٢ ـ تخزين اللحم الزائد التبريد :

يحفظ اللحم الزائد التبريد عند درجة حرارة ([illegible]) م ورطوبة نسبية [illegible] ٪ لمدة [illegible] يوم ، لكن يجب أن يكون مرتباً بحيث لا يلمس عند رفعه عند التخزين ، ولكن في مرتبات بحيث تلمس قطع اللحم في كل منها ، ويفضل تخزينه بشكل معلق ، وعند التخزين على شكل [illegible]

٣ ـ تجميد اللحوم بشكل ذبائح ، أنصاف ذبائح وقطع :

يجمد اللحم بشكل ذبائح ، أنصاف ذبائح وقطع في مرافق خاصة تعمل بحيث تحقق ظروف معينة في كل منها هي :

١ ـ تتميز بين فترتين تحقق : الأولى المرحلة الأولى من مراحل التجميد والثانية المرحلة الثانية من مراحل التجميد (المرحلة الأولى من مراحل التجميد هي المرحلة التي يتم فيها تخفيض درجة حرارة اللحم من (٣٥) إلى معدلها في قلب الذبيحة وتجميد الذبيحة .

٢ ـ تجميد اللحم في المرحلة الثانية من مراحل التجميد في مرافق تبريد تتميز بأن درجة حرارة ([illegible]) م ... (٤٠) في مركز القطعة بعد ذلك تخزن في مرافق التجميد

يعد اللحم مجمدا إذا وصلت درجة الحرارة في مركز الفخذ إلى -8 °C . زمن استمرار تجميد أنصاف الذبائح البقرية بكتلة حتى 110 Kg عند أنظمة مختلفة موضح في الجدول (٣-٧)

الجدول (٣ ـ ٧)

درجة حرارة الهواء °C	زمن استمرار تجميد لحم البقر بالساعة حسب حركة الهواء			
	طبيعية	قسرية (سرعة الهواء لا تقل عن 0,8 m/s)	طبيعية	قسرية (سرعة الهواء لا تقل عن 0,8 m/s)
	مبردة		مجمدة	
- ٢٣	٢٥	٣٥	—	٢٨
- ٣٠	٢٦	٢٧	٣٢	٢٢
- ٣٥	—	٢٣	—	١٨

زمن استمرار تجميد لحم الخنزير كأنصاف ذبائح ولحم الضان كأنصاف ذبائح بكتلة لا تزيد عن 45 Kg و 30 Kg على التوالي تشكل 80 % و 60 % من القيم المدرجة في الجدول (٣ ـ ٧) .

كلما جرت عملية التجميد بسرعة كانت نوعية اللحم أفضل . جفاف أقل وصلابة أعلى عند التخزين . ولذلك في الحياة العملية غالبا ما تؤخذ سرعة حركة الهواء أعلى من القيم المبينة في الجدول (٣ ـ ٧) .

وفق معطيات معهد موسكو التكنولوجي لصناعة اللحوم والحليب تعتبر السرعة المثلى 4 m/s على مستوى مركز الفخذ . في دول أخرى غالبا تؤخذ سرعة حركة الهواء في الأنفاق (6 ... 8 m/s).

غرف وأنفاق التجميد تجهز بشكل مشابه لغرف التبريد انظر الشكل (٤ ـ ٥٠ ـ ٥٠٧ ـ ٧) .

عند التجميد من المناسب تقريب مجرى الهواء البارد وفوهة خروجه من الجزء الفخذي .

بأخذ طبيعة تغير سرعة الجفاف بالحسبان يصبح من الضروري بأسرع ما يمكن تدقيق درجة حرارة التجميد على سطح اللحم . لذلك يترتب إجراء عملية التجميد بشدة أكثر (عند سرعة حركة هواء عالية ودرجة حرارة منخفضة) .

الحفاظ الأكثر كمالاً لنوعية المنتج يحصل عند سرعات تجميد عالية .

يقيم من سرعة التجميد نسبة سماكة الطبقة المجمدة (بالسنتمتر) على الزمن (بالساعة) الذي يمر خلاله التجميد .

سرعة التجميد (مثلاً اللحم بشكل أنصاف ذبائح) في غرف التجميد عند درجة حرارة هواء في هذه الغرف حوالي -20 °C - وحركة طبيعية للهواء لا تزيد عن 0,5 cm/h . في المجمدات النفقية عند درجة حرارة هواء -25 °C - وسرعة هواء w = 5 m/s تشكّل سرعة تجميد أنصاف الذبائح 0,91 cm/h وعند درجة حرارة هواء -35 °C - وسرعة w = 9 m/s تشكّل 1,3 cm/h .

في أجهزة التجميد السريع حيث تجمد المنتجات بشكل قوالب (كتل) بالتلامس غير المباشر مع وسيط تبريد ثانوي ذي درجة حرارة -25 °C ، -27 °C - تتراوح سرعة التجميد من 1,5 cm/h إلى 1,9 cm/h .

٨ ـ تجميد الأحشاء واللحوم المفرومة :

تجمد الأحشاء واللحوم المفرومة في غرف التجميد وفي أجهزة التجميد . كتل الأحشاء تجمد في قوالب طستية أو في مشكلات كتلية حتى درجة حرارة في مركز الكتلة -8 °C - . زمن استمرار تجميد الأحشاء يجب أن لا يزيد على 24 h عند درجة حرارة في غرف التجميد لا تزيد عن -18 °C - ، أما في أجهزة التجميد وأنفاق التجميد بدرجة حرارة هواء -30 °C - وحركة هواء ثانية فإن زمن استمرار التجميد بالتالي 8 ساعات ، 10 ساعات .

كتل اللحم تجمد في قوالب طستية في الغرف عند درجة حرارة لا تزيد عن -23 °C - ، أما في أنفاق التجميد مع حركة هواء قسرية تجمد عند درجة حرارة -30 °C - .

مدة التجميد في الغرف مباشرة بعد المعالجة التكنولوجية ، الغسل وسيلان الماء لا تزيد عن 36 h ومدة تجميد الكتل المبردة لا تزيد عن 30 h ، أما في انفاق التجميد لا تزيد المدة عن 10 h للحالة الأولى و 8 h للحالة الثانية .

في أجهزة التجميد تكون مدة تجميد الكتل المتشكلة أقل بالمقارنة مع التجميد في القوالب الطستية سماكة الكتلة فيها حتى 150 mm .

في أجهزة التجميد الدوارة عند درجة حرارة وسيط التبريد(-35 °C - ... -30) فإن مدة تجميد كتل اللحم المفرومة بسماكة 75 mm لا تزيد عن 3 h .

٢ - تخزين اللحم المجمد بشكل ذبيحة كاملة ، أو أنصاف [illegible] وبشكل قطع ، [illegible]
والاشتاء .

[illegible]

[illegible] ([illegible]) .

[illegible]

الحيوان	درجة حرارة الهواء في الغرفة (م)	المدة الحدية للتخزين (بالأشهر) لحم بشكل ذبائح أو أنصاف ذبائح وبشكل قطع (غير مغلفة)	قطع من اللحم (مغلفة)	[illegible] الاشتاء (مغلفة)
	١٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]
بقر	٢٠	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	٢٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	١٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]
ضأن	٢٠	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	٢٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	١٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]
خنزير	٢٠	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	٢٥	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible] ([illegible]) [illegible] .

[illegible] .

[illegible] .

[illegible] ، [illegible] .

[illegible] ، [illegible] ، [illegible] ، [illegible]

[illegible] ([illegible] 0,4 - 0,04) .

جامعة دمشق
Damascus University

٦ ـ ٧ ـ المعالجة التبريدية وتخزين لياقع الطيور :

١ ـ تبريد لياقع الطيور .

يحزن الطيور الفريسة في مستودعات ذات تهوية جيدة بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة
حرارة ثابتة (2 ± 0 °م) ورطوبة نسبية (85 : 80 %) مدة لا تزيد
حفظ لحوم الطيور المجمدة بالتبريد السريع التقليدي لمدة (0,5 : 0,1) شهر
(1,5 : 0,8) شهر وزيادة مدة التخزين لمدة تقل عن نصف مدة تخزين الطيور المجمدة
الزمن المقرر .

٣ ــ التبريد الزائد (التجميد الخفيف) لذبائح الطيور :

يجرى التبريد الزائد لذبائح الطيور المعدة للتجميد على درجة حرارة (2 ± 0 °م) في تبريد
على شكل طبق (0,5 cm) لمدة لا تقل عن (4) ساعات ، وتستخدم هذه الطريقة
كطريقة تمهيدية لتجميد الطيور مباشرة .
هذه الطريقة عند زيادة التبريد لمدة (24) ساعة على درجة حرارة (2 ± 0 °م)
(4 : 3) أسابيع (30 : 25 يوم) .

٤ ــ تخزين الطيور زائدة التبريد :

يجرى تخزين الطيور زائدة التبريد على درجة حرارة (0,5 : 0 °م) ورطوبة
نسبية (95 : 90 %) مدة التخزين لا تتجاوز ٢٥ يوماً .

٥ ــ تجميد ذبائح الطيور :

تجمد الطيور في غرف تبريد بحركة طبيعية وقسرية في نفق (مرحلة واحدة
أسبوع) على درجة حرارة ثابتة (40 : 30 °م) ، تجمد في محكمة
الرطوبة عليها كيس من كلورايد البولي فينيل .
تخزن الطيور المجمدة في غرف تجميد بشكل غرف ، في حجرة ذات شكل مستطيل ، مدة
تخزين تتراوح (12 : 1) شهر تخزن (20) ذبيحة (تتراوح أوزانها) (12 : 1) تخزن
بالصناديق (تتدرج ، تغطى بالورق) وتتراص بحيث تكون المسافة بين (4 : 3) على
(7) في مركز تخصيص تقسيم ، وتكون سرعة حركة الهواء (4 : 3) م/ثا وحرارة الهواء
(35)

٥ ـ ٤ ـ تخزين السمك الزائد للتوريد :

إن كبس السمك المجمد في كتل بضغط 0,001 Mpa يخفض مدة التجميد بمعدل (25÷30%) في أجهزة التجميد اللوحية تجمد كتل السمك بسماكة 60 mm حتى درجة حرارة 30 °C - خلال (2 ÷ 2,5 h) .

لتجميد السمك يستخدم أحيانا البرد الطبيعي وطرق التبريد بالجليد المملح : تلامسي وغير تلامسي .

من الممكن تلبيس السمك المجمد بالهواء . إن تلبيس السمك هو إجراء تشكل غلاف جليدي رقيق على سطحه (قشرة) ، الذي يقلل من جفاف المنتج ومن فساد الشحم بسبب الأكسدة ويزيد مدة التخزين بمقدار 1,5 إلى ٢ مرة .

لتلبيس السمك يستخدم ماء عذب مبرد بدرجة حرارة (3 °C : 1) ويغطس فيه السمك أو يرش الماء على السمك . عند التغطيس الأول تشكل قشرة بسماكة (0,5 mm ÷ 0,2) . ينصح بتلبيس السمك بتغطيسه ثلاث مرات في الماء ، من المناسب بعد كل تغطيس تعريض السمك لتيار هواء مدة (10÷20 sec) بدرجة حرارة لا تزيد عن 15- °C وبسرعة (2÷3m/s) .

في بعض الدول يستخدم الآزوت السائل ، مدة تجميد السمك والمنتجات البحرية في الآزوت السائل تستغرق (15 min ÷ ٣) .

٦ ــ تخزين السمك المجمد :

السمك المجمد يخزن عند درجة حرارة (30 °C - ÷ 18 -) ورطوبة نسبية (100 % ÷ 95) . السمك الذي يحوي كمية كبيرة من الشحم يخزن عند درجة حرارة (35 °C - ÷ 30 -) .

يغلف السمك بورق ذي غشاء بارافيني أو بأغلفة من السليسيوم العضوي ، وأيضاً يغلف بالدعامين .

٨ ــ ٧ ــ المعالجة التبريدية وتخزين الثمار والخضار :

من أهم مهام التخزين الناجح للثمار والخضار خلق الشروط الملائمة التي تحفظ مقاومتها للأمراض الفيزيولوجية وتعيق تأثير الميكروبات عليها . حفظ الثمار والخضار يرتبط ببطء إجراءات النشاط الحيوي في فترة التخزين ، عند ذلك فإن درجة الحرارة يجب أن تكون

أعلى أو مساوية لدرجة الحرارة الكرايوسكوبية ، حفظ الثمار والخضار يتعلق بدرجة كبيرة بالمواصفات النوعية للمادة الخام . مثل هذه المواصفات النوعية يمكن أن تكون مقدرة السلعة للتخزين الطويل ، ظروف التنمية (التربية) ، الظروف المناخية للمنطقة ، درجة النضوج ، طرق نجني ، معالجته ، سرعة وسرعة تبريد وتصنيفه من أجل التخزين .

إجراء التنفس يعتبر الإجراء الأساسي للنشاط الحيوي للمواد الخام النباتية ، والذي يؤدي إلى كسب الخلايا الحية الطاقة الضرورية التي تحصل عند انحلال و تأكسد المواد العضوية المركبة .

يرتبط بالتنفس جميع الإجراءات التي تتم في المواد الخام النباتية : النمو ، تحول ومصروف الكربوهيدرات ، فقد الماء ، الأمراض الفيزيولوجية النفسية ، السمية .

إن شدة تنفس الثمار والخضار تتغير تبعاً لدرجة الحرارة وفق علاقة أسية ، درجة الحرارة في الكومة تكون دائماً أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط ، لذلك من الضروري مراقبة درجة الحرارة وحفظها بما يتلائم ودرجة الحرارة اللازمة داخل الكومة .

تقليل شدة تنفس الثمار يجري في الصناعة جملة عمليات (إجراءات) :

١ ــ تبريد سريع للخضار والفواكه وحفظها عند درجة حرارة في الغرف أكبر من درجة الحرارة الكرايوسكوبية .

٢ ــ استعمال عوامل كيميائية وفيزيائية كأوساط تبطئ عملية التنفس .

٣ ــ مكافحة الفساد الجرثومي للثمار والخضار عند التخزين باستعمال مواد كيميائية بحالة سائلة ، بشكل مسحوق وبشكل غازي . بالأشعة فوق البنفسجية ، وبالأشعة غاما وغيرها .

كقاعدة فإن الحفاظ على درجة حرارة تخزين مستقرة ومنخفضة بشكل كاف عند أي من أنظمة التبريد المختلفة لا يحل مشاكل حفظ المواد الخام ، لأن الجراثيم والعفن تنمو بحرية عند درجة الحرارة هذه في غرف التبريد ، لذلك فإن مزاوجة أنظمة درجات الحرارة الضرورية والطرق الموجهة لكبح نمو الجراثيم تمكّن من خلق الشروط المطلوبة لحفظ المواد النباتية .

كل نوع من أنواع الخضار يتطلب خليط مستقر لأوساط تحمية تكيميائية . وعند ذلك فإن التخزين التبريدي يجب أن يشكل الشروط التي يكون عندها الفقد في المواد الخام نتيجة الجفاف والاهتراء أصغرياً .

إن جفاف السلع النباتية عند التخزين الناتج عن تبخر الرطوبة يتناسب مع كمية الحرارة المعطاة للكومة .

عند تبخر الرطوبة يحصل ليس فقط جفاف السلع النباتية بل أيضاً انخفاض جودتها ، من غير المسموح انخفاض وزن السلعة المخزنة بمعدل 5 % ، إذ أنه عند ذلك تفقد السلع النباتية مقاومتها للأمراض المختلفة . لذلك فإن أفضل طريقة لإنشاء مخزن الخضار والفواكه يجب أن تؤمن الامتصاص الأعظمي للتيارات الحرارية الخارجية واستقرار الحفاظ على نظام درجة حرارة في الغرفة والكومة خلال فترة التخزين بالكامل . إنجاز الشرط الثاني يعد مهماً جداً ، لأن تغير نظام درجة الحرارة إضافة إلى الجفاف يمكن أن يؤدي إلى تكاثف الرطوبة على السطوح الخارجية وفي حجم كومة السلع .

عندما تكون الرطوبة النسبية للهواء في الغرفة وفي الكومة (95 % ÷ 90) فإن التغير المفاجئ لدرجة حرارة الهواء ولو بمقدار (0,5 °C ÷ 0,3) يؤدي إلى تساقط قطرات المتكاثف على سطح السلعة .

داخل الكومة يجري تعرق السلعة نتيجة تقلب درجة الحرارة عند تقابل تياري الهواء الدافئ والبارد فيها .

تكاثف الندى على سطح السلع يولد إصابات ميكروبيولوجية .

يتم اختيار الأنظمة الحرارية لغرف تخزين الثمار والخضار بما يتوافق مع المتطلبات التكنولوجية .

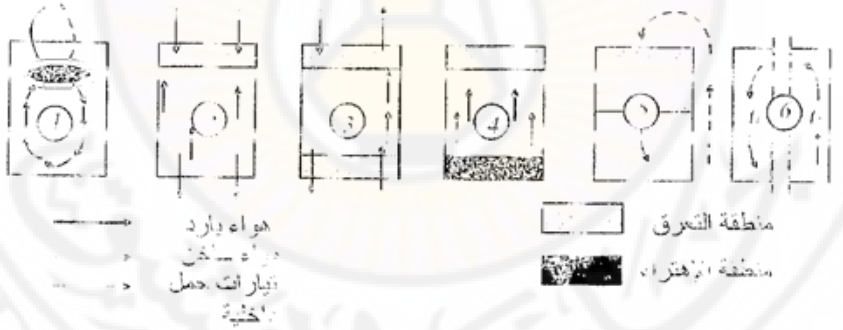
من هذه الأنظمة درجة حرارة الهواء ، رطوبته النسبية وسرعة حركته .

درجة الحرارة المنصوح بها لمعظم أنواع السلع النباتية تتغير في حدود غير كبيرة (من 4 إلى 0 °C -) . الرطوبة النسبية المثلى لكل من أنواع السلع بشكل يتعلق بشروط طرح الحرارة وتثبت في الحدود من 85 إلى 96 % ، يستثنى من ذلك البصل الذي يخزن عند رطوبة نسبية لا تزيد عن 75 % .

يجري تخزين الفواكه والخضار على الأغلب بهواء ذي درجة حرارة (3 °C - ÷ 2 -) وسرعة حركة (2 m/s ÷ 1) ، يسمح أيضاً بنظام التبريد النفضي ، عندما يُعطى الهواء البارد إلى السلعة (الكومة) دورياً خلال فواصل زمنية محددة . هذا النظام يسمح باستخدام البرد الطبيعي (هواء خارجي ذو درجة حرارة حتى 10 °C -) .

١ ـ ٨ ـ ٧ ـ تأثير نظام التبريد في نظام المعالجة التبريدية للثمار والخضار :

تستخدم في البرادات أنظمة تبريدية مختلفة . اختيار هذه الأنظمة يجري مع مراعاة خصوصية تخزين المواد الخام النباتية . في الجيل الأول لبرادات تخزين الخضار والفواكه استخدمت أنظمة تبريد كالأنظمة التي استخدمت في البرادات التوزيعية والملائمة لخلق شروط تخزين السلع عديمة التنفس (في مثل هذه الأنظمة تطرح الحرارة إلى الهواء على مسار حركته إلى الكومة) وهي غير مجهزة لسحب حرارة التنفس والحرارة المنبعثة من انفوكه في حجم الكومة . لذلك في عملية تخزين الفواكه تشكلت في الكومة حالات مختلفة لدرجة الحرارة والرطوبة ، والتي أظهرت تأثيرا بدرجة كبيرة في مؤشرات نوعية السلع وسرعة الانخزين (انظر الشكل ٩ ــ ٧) .



الشكل (٩ ــ ٧) : الحالات التي تسبب تكاثف بخار الماء
وتشكل طبقة ماء على سطح الفواكه والخضار .

١ : منطقة تعرق في الجزء الأعلى للكومة . تسبب الأعلى تعرق التبريد بالإشعاع للسقف من قبل تعادله (السقف أو أجهزة التبريد) .

٢ : التعرق الناتج عن العمل المتقطع للمراوح عند جريان الهواء من الأعلى للأسفل هو أحد الأسباب الشائعة لفساد السلع في غرف التبريد.

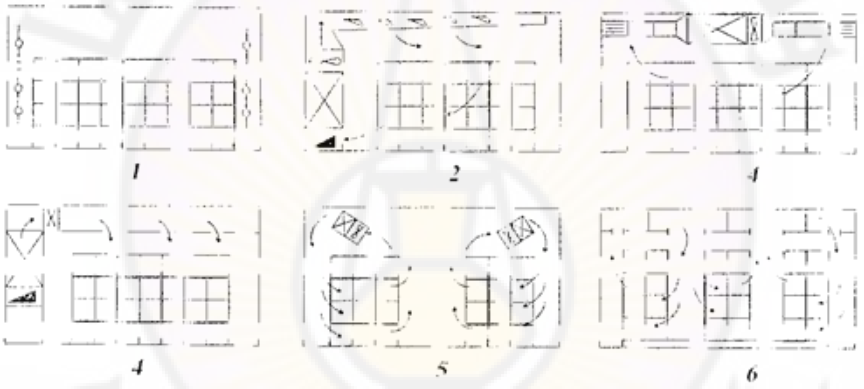
٣ : تعرق ناتج عن العمل المتعاكس للمراوح .

٤ : تعرق السلع في الجزء العلوي للكومة المرتبط بتشكل بؤر إصابات ميكروبيولوجية في المنطقة السفلى للكومة .

د : ظاهرة الدوران المنعكسة . وتظهر عندما يتسرب الهواء الخارجي الدافئ الى المخـزن أو عنـد الشحن والتفريغ . المخزن يبرد بسرعة . عند ذلك من تيارات الهواء الهابطة يتساقط الندى في الكومة .

يظهر التعرق غالباً عند تخزين السلع ذات المقدرة التبخرية الكبيرة (الجزر . الملفوف) عندما تكون الرطوبة التوازنية للهواء داخل الكومة قريبة من 100 % .

المخططات المنتشرة (ولكنها ذات أنظمة غير كافية الفعالية لتبريد مخازن الخضار والفواكه) موضحة على الشكل (١٠ ــ ٧) .



الشكل (10 ــ 7) : الأنظمة التبريدية لمخازن الفواكه

١ : ذات مرطبات . ٢ : ذات مجرى مع توزيع هواء بالنفث

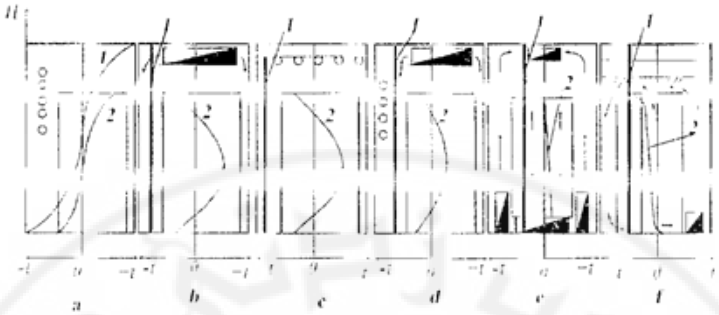
٣ : مزدوجة المجاري . ٤ : ذات مجرى علوي ذو ثقوب لتوزيع الهواء

٥ : ذات برادات هواء معلقة ٦ : ذات مجاري متعددة مع مجاري دفع وسحب سفلية .

عند استخدام مثل هذه الأنظمة للتبريد تتشكل حالات في كومة المواد الخام النباتية تتصف بظهور ضرورة تكثف تصعيدي تندى على سطوح أجنبية وفي حجم الكومة .

تحليل : مقارنة أنظمة التبريد يجري على أساس طبيعة أنظمة تخزين الفواكه في الغرف وانتظام درجة الحرارة والرطوبة في الكومة مع مراعاة الطبيعة الاستثمارية للأنظمة .

المعطيات المتعلقة بأنظمة درجات الحرارة في الغرفة وفي الكومة ممثلة على الشكل (١١ــ٧)



الشكل (١١ ــ ٧) : مخططات تغير درجة الحرارة
وفق ارتفاع الكومة والغرفة .

a : نظام تبريد بالبطاريات . b : نظام تبريد هوائي .
c : نظام تبريد صفائحي . d : نظام تبريد مختلط .
e : نظام تبريد هوائي مع تهوية فعالة . f : نظام تبريد على شكل ستارة هوائية .
1 : درجة حرارة الهواء في الغرفة . 2 : درجة الحرارة في الكومة

عند التبريد بالبطاريات (الشكل a ، ١١ ــ ٧) وعندما تكون البطاريات مثبتة على الجدران إذ تكون الأحمال الحرارية أكبر ، أو عندما تكون موزعة بانتظام في محيط الغرفة تستقر في الكومة نرطوبة نسبية تكون أعلى من تلك الموجودة في الغرفة . وفي الغرفة 93 % (97 ÷ 98 %) . الفرق بين درجتي حرارة هواء الغرفة والسلعة في الكومة في فترة الصيف يشكل (8 ÷ 10 °C) . في فصلي الخريف والشتاء يتصف الهواء عند الأرض وعند السلع من جهة البطاريات بدرجة حرارة سالبة (3 - ÷ 4 °C -) . أما في الجزء العلوي للكومة تكون درجة الحرارة موجبة . إن ذلك يؤدي إلى تعرق السلع المصحوب بالإصابة الميكروبيولوجية للسلع . بإضافة لذلك في مثل هذه الأنظمة يتشكل تبادل حراري بإشعاعي كبير بين سطوح البطارية والغطاء من جهة والسلع من جهة أخرى ، مما يؤدي إلى تجمد المنتجات والى التعفن أو الإصابة بالأمراض عند انعدام الاستقرار .

إن الحركة القسرية للهواء في الغرفة بوساطة مجاري توزيع الهواء تشكل درجة حرارة متجانسة للهواء في الغرفة المشحونة ولا تزيد تقريباً من تخلخل الهواء داخل الكومة إلا بشكل بسيط .

هذا يفسر بأنه عند مثل هذا التوزيع للهواء تتشكل تهوية محيطية للكومة وفرق ضغط الهواء الضروري لتهوية الكومة يتشكل فقط على حساب فرق كثافتي الهواء البارد والدافئ خارج وداخل الكومة :

Damascus University

عند تصميم مجاري توزيع الهواء تؤخذ سرعة حركة الهواء في الكومة بالمجال (0.15÷0.3m/s) عند ذلك تكون المقاومة الهيدروليكية للكومة غير كبيرة لأن الهواء يمر بشكل أساسي في المسافات بين الصناديق وأوراقها . كمية الهواء التي يجب تقديمها للكومة تشكل (50 ÷ 80 m^3/h) .

لاستخدام أنظمة التهوية القطعية يسمح بريثما تمكن الغرف وإجراء التبريد السريع للسلع المكدسة او المكومة في حاويات .

يمكن تصحيح عيوب أنظمة التبريد المستخدمة في مخازن الفواكه والخضار بشكل جزئي عن طريق تعديل التصميم.

الأنظمة ذات المخططات المبسطة الموضحة على الشكلين (١٢ ــ ٧ ، ١٣ ــ ٧) تعتبر أكثر ملائمة وأفضلية .

للتقليل من اجراء التنفس والضرر الميكروبيولوجي للسلع تنجز العمليات التالية :

أ ــ معالجة الهواء من البكتريا .

ب ــ تنظيم الوسط الغازي او تخزين السلع في صناديق مع إجراءات تسمح بحفظ التركيب الغازي داخل الصناديق بمحتوى منخفض للأكسجين .



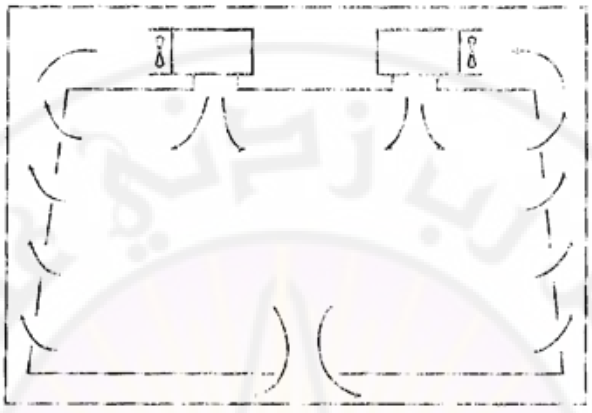
الشكل (١٢ ــ ٧) : مخططات الأنظمة التبريدية المحسنة لمخازن الخضار والفواكه

١ : نظام تدوير غلاف ديناميكي مسقف مثقب .

٢ : نظام تدوير تمييعي عازل حراري جيد المجرى .

٣ : نظام رجيع المجرى دفع الهواء المستخدم إلى فراغ جيدي .

٤ : نظام تدوير تهوية فعالة للكومة .



الشكل (١٣ ـ ٧) : نظام تبريد ذو وسادة هوائية لتخزين الفواكه

٢ ـ ٨ ـ ٧ ـ تخزين الثمار في وسط غازي مراقب :

تخزن الخضار والفواكه في وسط غازي معدّل بهدف إطالة فترة التخزين كنتيجة لإبطاء عملية النضوج ، فقد أظهرت الدراسات نجاح استخدام وسط غازي ذي محتوى عالي من (CO_2) ومنخفض من (O_2) في تخزين الثمار .

تخزن الثمار في مرحلة نضوج التقاط بمعدلها ضد الإثلف الفيزيولوجية ، وتنخفض هذه المقدرة في المراحل المتقدمة من النضوج لذا وبهدف التخزين الطويل يجب إبطاء عملية الهرم والشيخوخة .

يتم التخزين في وسط غازي معدّل باشتراك عدة عوامل (O_2) و (CO_2) ودرجة الحرارة ، يفسر بطء نضوج الثمار في وسط غازي معدل بضعف امتصاص الاكسجين من قبل الأنسجة وارتفاع نسبة (CO_2) فيها ، يؤثر كلا العاملين في الفعالية الأنزيمية اللازمة لعمليات الأكسدة. أثبتت الدراسات أن غاز (CO_2) يبطئ عملية التنفس كما يبطئ فعالية الأنزيمات المؤكسدة ، ويبطئ ظهور الأسيتالدهيد وغيره من مواد النكهة والإيثيلين ، كما يضعف عملية تحلل المواد البكتينية وغيرها. إن الحدود التي ينصح بها لوجود غاز (CO_2) في الوسط المحيط بالثمار لا تزيد عن (١٠ %) ، وجود (CO_2) بنسب أعلى يؤدي إلى تلف الفاكهة بسبب حصول التنفس اللاهوائي .

يؤدي ارتفاع الأكسجين في الوسط المحيط بالثمار إلى ازدياد محتواه في الأنسجة ، ويختلف تأثير الأكسجين على الفطار والفواكه بحسب الصنف والنوع . ويشكل عكسي تماما تنخفض تركيز الأكسجين في الوسط المحيط ينخفض أيضا محتواه في الثمار وتنخفض الشدة التنفسية.

يعتبر عند تراكم نسبة مرتفعة من الأكسجين من إصابة الثمار بالأمراض الفيزيولوجية مثل الحرق ، كما تكتسب الثمار رائحة وطعما كحوليا .

وعلى كل لا يمكن أن نوصي بتخزين الثمار بشكل جيد عند مستوى من الأكسجين لا يقل عن (٣-٢ %) وعند هذه الحدود يتم الحفاظ على المركبات المكونة للثمار بشكل أفضل منه في حالة التخزين العادي .

إن طريقة التخزين في الجو المراقب لاقت انتشارا كبيرا في فرنسا وإيطاليا وبلدان أخرى ، ويتطلب الجو المراقب الحفاظ بشكل دقيق على نسبة (CO_2) مرتفعة وذلك حسب طبيعة الفواكه المخزنة ، فمثلا للتفاح يحافظ على نسبة CO_2 (٣ %) ونسبة O_2 (٤ % ÷ ٣) وعند كون نسبة الأكسجين أقل من ذلك فإن الثمار تتعرض لتلف الفيزيولوجي ويبدأ التنفس اللاهوائي وتشكل الكحول .

وسنتعرض فيما يلي بعض طرق المستخدمة لتخزين الثمار في وسط غازي مراقب :

١ ـ تخزين الثمار في الغرف ذات الجو المنتظم :

عند تخزين كميات كبيرة من الثمار تستخدم طريقة التخزين في وسط غازي منتظم في داخل حجرة التخزين ، ويتم بهذه الطريقة إما تخفيض نسبة الأكسجين في هواء الغرفة ورفع نسبة غاز (CO_2) مع استخدام درجات الحرارة المنخفضة (بحدود 5°C ÷ 2 عند رطوبة نسبية 90 %) .

يفضل أن تزود غرف التخزين ذات الجو المنتظم بغلاف من البولي إيتلين أو الفولاذ غير القابل للصدأ من الجهة الداخلية أو الخارجية .

تتميز هذه الطريقة بإمكانية التحكم الدقيق بنسب الغازات المطلوبة ويمكن الحصول على الأوساط الغازية بعدة طرق :

أ ـ باستخدام جهاز غسل الغاز (Scrobber) :

يقوم هذا الجهاز بامتصاص الكمية الزائدة من غاز (CO_2) من غرفة التخزين وتستخدم مواد كيميائية شرهة لـ (CO_2) مثل ماءات الصوديوم ، ماءات البوتاسيوم وغيرها،

إن كل من هذه المواد يمكنها أن تمتص كمية محدودة من (CO_2) ويتم تغيير المواد بعد إشباعها بـ (CO_2) ويحدد ذلك عادة بكمية المواد المخزنة وغيرها من الظروف العملي ، تركب مثل هذه الأجهزة بجانب غرفة التخزين (الشكل ١٤ ـ ٧) .



الشكل (١٤ - ٧) : استخدام مواد كيميائية للتحكم بنسبة CO_2 في غرفة التخزين

١ : مروحة تدوير الوسط الغازي ٢ : مغلاق دخول وخروج .

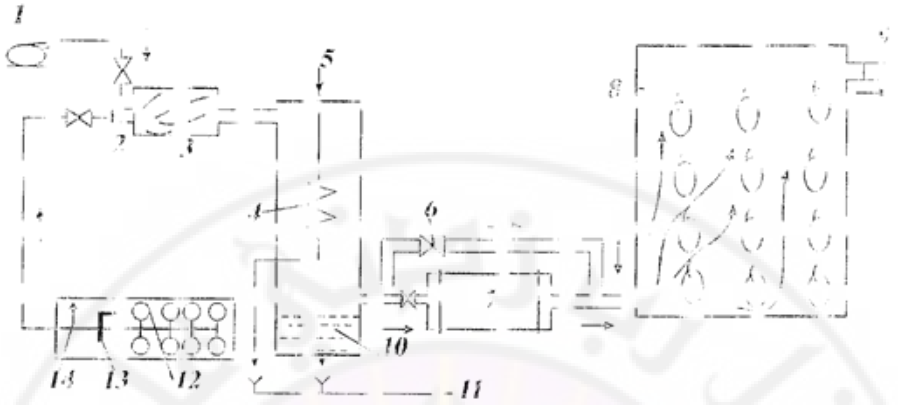
٣ : جهاز غسل الغازات . ٤ : نافذة رؤية

٥ : أرضية معدنية . ٦ : قناة مروحية جانبية .

ب ـ بـ باستخدام مولدات الغاز :

يمكن الحفاظ على التركيب الغازي المطلوب في غرف التخزين عن طريق تزويد هذه الغرف بمزيج غازي محضر مسبقاً في مولدات الغاز

وعادة ما يتم الحصول على المزيج الغازي في مولدات الغاز عن طريق حرق البروبان مع الأكسجين ، ويمكن أن تعمل مولدات الغاز في دارة مغلقة أو مفتوحة ، في الدارة المغلقة يتم إعادة سحب الغازات من غرف التخزين وتنظيفها ودفعها ثانية إلى الغرف ، أما في النظام المفتوح فتطرد الغازات من الغرف إلى الهواء الخارجي بعد أن يزيد محتواها من (CO_2) عن الحدود المطلوبة وينقص مستوى (O_2) ، ويدفع مزيج غازي طازج إلى غرف التخزين (انظر الشكل ١٥ ـ ٧) .



الشكل (١٥ ــ ٧) : غرفة تخزين مزودة بمولد للغاز

١ : مروحة ، ٢ : بادئ الاشتعال ، ٣ : غرفة الاحتراق ، ٤ : مبرد ماء
٥ : دخول الماء المبرّد ، ٦ : صنبور ، ٧ : منظم غاز ، ٨ : غرفة تخزين
٩ : خروج الوسط الغازي ، ١٠ : مجمع الماء المتكاثف ، ١١ : تصريف الماء .
١٢ : مخزن غاز الاحتراق ، ١٣ : صمام أمان ، ١٤ : منظم خروج غاز الاحتراق

جـ ــ باستخدام المبادل الغازي (الحجاب) :

في هذه الطريقة يركب المبادل الغازي (الحجاب) بجانب غرفة التخزين (الشكل ١٥ ــ ٧). ويتم سحب غاز الغرفة من طريق مروحة ثم عبر الحجاب الذي يتميز بنفوذية معينة لغازات (CO_2) و (O_2) وبخار الماء والأزوت ، وبذلك يعمل الحجاب لكامل غرفة التخزين.

يصنع الحجاب من مادة السيليكون أو الكاوتشوك ، نفوذية رقائق السيليكون أكبر بـ (٢٠٠) مرة من نفوذية البولي إيتيلين ذات الثخانة ٥٠ ميكرونا .



الشكل (١٦ ــ ٧) : استخدام السائل الغازي (الحجاب)

١ : موازن الضغط ، ٢ : مروحة ، ٣ : مبخر ، ٤ : مروحة

٥ : اغشية المعادل الغازي ، ٦ : مروحة تدوير ، ٧ : فلتر

٨ : فتحة للرؤية ، ٩ : باب محكم الإغلاق ، ١٠ : مواد تكهية طيارة

٢ ــ تخزين الثمار باستخدام رقائق من البولي إيثيلين :

يمكن إنشاء الوسط الغازي المعدل عند تخزين الثمار باستخدام رقائق البولي إيثيلين ، ويتشكل الوسط المعدل كنتيجة لعملية التنفس الطبيعية التي تجريها الثمار والتي تتضمن خلالها الأكسجين من الهواء وتطرح ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وبالنتيجة تنخفض كمية الأكسجين في الوسط المحيط بالثمار داخل الحاوية حتى (٣ ÷ ٤ %) وتزداد كمية CO_2 . وبالتالي نجد أن الثمار نفسها تخلق جو التخزين ، درجة حرارة التخزين في مثل هذه الظروف يجب أن تكون قريبة من الدرجة الكرايسكوبية .

تتميز رقائق البولي إيثيلين بنفوذيتها المحدودة لغازات (O_2) و (CO_2) ولبخار الماء الأروتة، إضافة لذلك تختلف سرعة إمرارها للأكسجين عنها لثاني (CO_2) . يتم اختيار رقائق البولي إيثيلين بحيث لا تكون نفوذيتها عالية ، لأن ذلك يصعّب الحفاظ على الوسط الغازي المعدّل به

داخلها ، وبالوقت نفسه يجب أن لا تكون عديمة النفوذية بشكل كامل ، إذ يؤدي ذلك إلى تخفيض محتوى (O_2) داخلها وارتفاع محتوى (CO_2) إلى حدود غير مسموحة .

يجب أن تتمتع رقائق البولي إيثيلين بالصفات التالية :

١ – خاملة كيميائياً وعديمة الطعم والرائحة .

٢ – مرنة في الاستخدام إذ يمكن تشكيلها بحسب الحاجة .

٣ – نفوذية مقبولة لغازات (CO_2) و (O_2) بحيث نفوذيتها لـ (CO_2) أكبر عدة مرات من نفوذيتها لـ (O_2) .

٤ – نفوذية منخفضة نسبياً لبخار الماء .

عند استخدام رقائق البولي إيثيلين يتم اختيار سماكتها بشكل يتلائم مع صنف الثمار ونوعها . يمكن استخدام رقائق بولي إيثيلين تشكل نوع مختلفة من المغلفات (الحويصلات) بحسب المتطلبات التكنولوجية ، إذ يمكن تشكيل أكياس صغيرة تتسع لواحد كيلوغرام أو لعدة كيلوغرامات من المنتج .

يتعلق التركيب الغازي الذي يتشكل داخل المغلفات بعدة عوامل :

كمية الثمار داخل المغلف ، شدة التنفس ، درجة حرارة التخزين ، إحكام إغلاق المغلف وغير ذلك .

وتعد الرقيقة نموذجية عندما تؤمن المحافظة على مستوى منخفض من غاز (CO_2) في داخلها بشرط أن تؤمن في الوقت نفسه عدم حصول التنفس اللاهوائي .

أثبتت التجارب بأنه من المناسب تخزين أنواع التفاح المختلفة في رقائق البولي إيثيلين سماكة حتى 60 mm . عند تخزين الثمار في مغلفات البولي إيثيلين فإن محتوى الأكسجين ينخفض بسرعة خلال الخمسة عشر يوم الأولى حتى (٣ ÷ ٨ %) ، وبعد ذلك يبقى على مستوى واحد لمدة ستة أيام ، في الوقت اللاحق ينخفض بعض الشيء ويبقى مستقراً خلال كامل فترة التخزين .

من محاسن هذه الطريقة من التخزين :

١ – إطالة فترة التخزين الممكنة بسبب انخفاض الشدة التنفسية وإبطاء عملية النضوج .

٢ – بساطة الاستثمار .

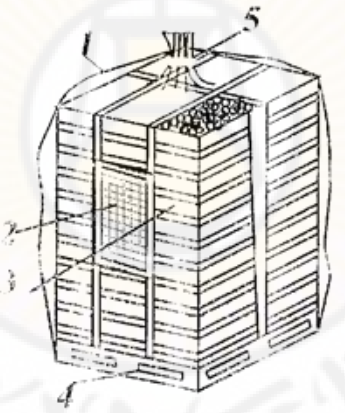
٣ – الحصول على منتج ذي مظاهر جيد .

٣ ــ تخزين الثمار في حاويات ذات نوافذ للتبادل الغازي :

تعد هذه الطريقة شكل متطور لطريقة التخزين في رقائق البولي إيتيلين . وقد ذكرنا أن رقائق البولي إيتيلين تتمتع بنفاذية محددة لغازي (O_2) و (CO_2) ، إذ أن هذه النفاذية تحصر على الوسط الغازي المطلوب ، تتطلب التفكير بطرق أكثر نجاعة للتحكم بتشكيله .

تتم عملية التبادل الغازي عند استخدام رقائق البولي إيتيلين عبر كامل سطح المغلف ، مما يصعّب عملية التحكم في تركيب الوسط داخل المغلف ، أما الحاويات ذات النوافذ فتعتمد على حصر عملية التبادل الغازي مع الوسط المحيط بالحاوية عبر نافذة معينة يمكن حساب نفوذيتها للغازات بدقة . في حين لا يشترط بقية سطح المغلف بعملية التبادل ، يمكن أن يكون هذا المغلف من أية مادة بلاستيكية وبأية سماكة .

يمكن أن تكون الحاويات ذات سعات مختلفة من عدة كيلوغرامات وحتى عدة أطنان ، والشكل(١٧ ــ ٧) يبين طريقة عمل هذه الحاويات .



الشكل (١٧ ــ ٧) : الحاويات ذات نوافذ التبادل الغازي .
١ : غلاف من البولي إيتيلين ، ٢ : نافذة التبادل الغازي .
٣ : سطح مثقب ، ٤ : قاعدة ، ٥ : رباط الغلاف .

يجري اختيار مساحة سطح النافذة بحسب نفوذيتها وبحسب كمية المنتج داخل الحاوية ، يتم تعديل الوسط الغازي داخل الحاوية كنتيجة للنشاط الحيوي للثمار (تنفس ، تبخر) وذلك حسب نفوذية النافذة ودرجة الحرارة ، وعادة ما يتم استمرار النظام الغازي داخل الحاوية بعد مضي أسبوعين أو ثلاثة على بداية التسخين .

الفصل الثامن

معدات التبريد الصغيرة

٨ ــ ١ ــ التجهيزات التبريدية التجارية

التجهيزات التبريدية التجارية تشمل الأنواع التالية :

الفاترينات (واجهات العرض ، المنصة فاترينة ، المنصات ، الخزانات ، الغرف) .

هذه التجهيزات مخصصة للحفظ قصير الأمد وعرض وبيع المنتجات السريعة التلف عند درجات حرارة منخفضة في المؤسسات التجارية .

حسب نظام درجة الحرارة تصنع التجهيزات بشكلين : لحفظ السلع المبردة عند درجة حرارة (8°C : 0) ، والمجمدة عند درجة حرارة 18°C- أو أخفض .

حسب طبيعة حركة الهواء تميز تجهيزات بحركة طبيعية وبحركة قسرية للهواء .

حسب شروط البيع تنتج تجهيزات لمحلات البيع بوجود البائعين وتجهيزات لمحلات البيع ذات الخدمة الذاتية (بدون بائعين) .

الغرف وخزانات التبريد تحتوي على هيكل مغلق ومعزول . الفاترينات ، المنصات ــ فاترينات ، والمنصات تخصص لحفظ السلع خلال ساعات العمل .

درجة حرارة ومدة الحفظ :

في الجدول (٨ ــ ١) أدرجت درجات الحرارة الموافقة للفترة الأعظمية لحفظ مختلف المنتجات سريعة الفساد أما في الجدول (٨ ــ ٢) أدرجت شروط حفظ المنتجات المطبوخة.

الجدول (٨ ــ ١) درجة الحرارة والفترة الأعظمية لحفظ المنتجات في البرادات التجارية :

المنتج	درجة حرارة الحفظ °C	الفترة الأعظمية للحفظ بالساعة
لحمة مبردة	+ ٤ ÷ - ١	٨
مرشيه مسلوقة	+ ٤ ÷ - ١	١٢
لحوم الطيور	+ ٤ ÷ - ١	٨

تابع لجدول (٢ ــ ٨)

[illegible]	٥	[illegible]	١٢
[illegible]	٦	[illegible]	١٢
[illegible]	٢	[illegible]	٨
[illegible]	٢	[illegible]	١٢
[illegible]	١٠	[illegible]	١٢
[illegible]	٢	[illegible]	١٢
[illegible]	١٠	[illegible]	١٢
[illegible]	١٠	[illegible]	١٢
[illegible]	لا تزيد عن ٢٥		—
[illegible]	لا تزيد عن ٢٥		—
[illegible]	لا تزيد عن ٢٥		—

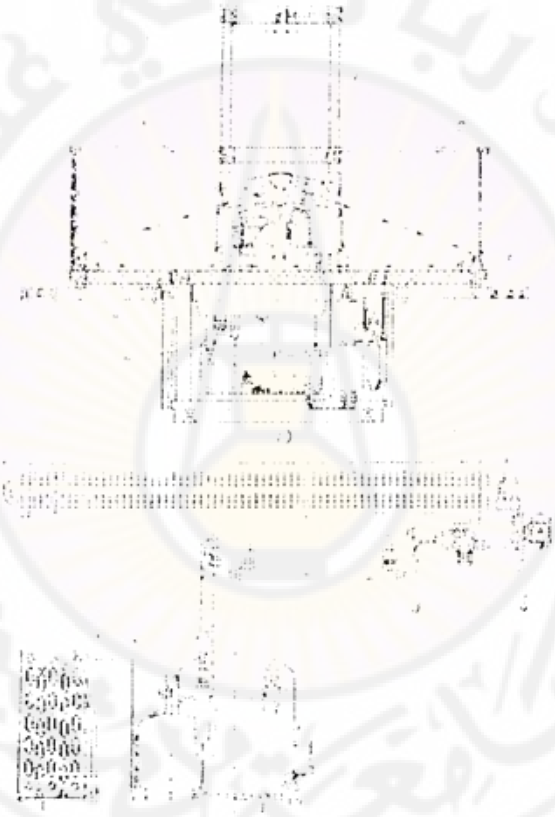
ملاحظة : مدة الحفظ في الزمن من الحفظ الصنيع الطازج حتى الحفظ بعد التسييخ .

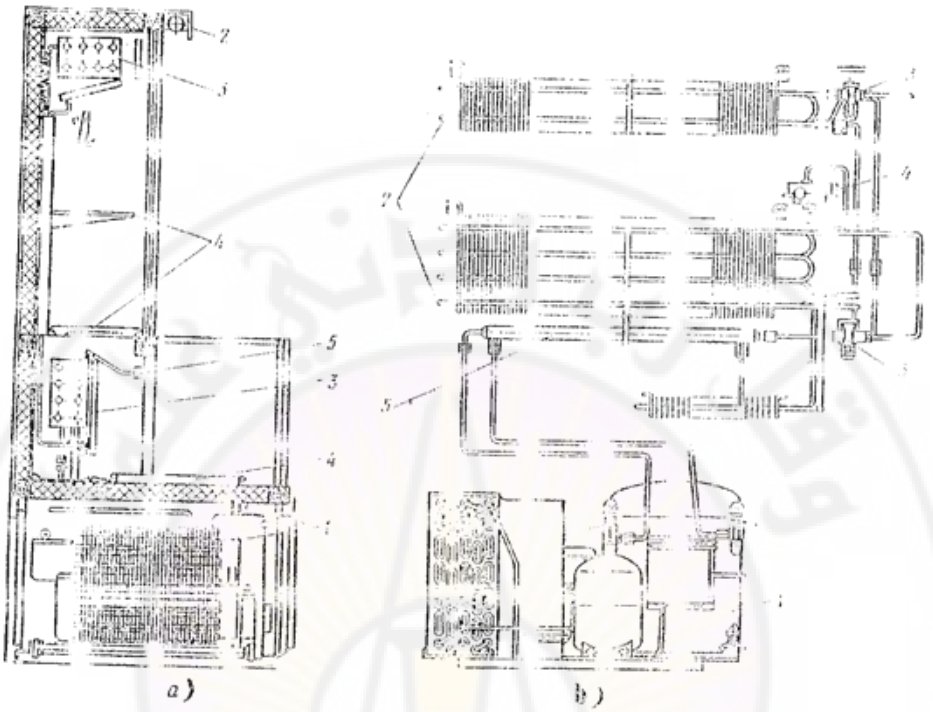
الجدول رقم (٢ ــ ١٠) درجة الحرارة و الفترة الاعظمية لحفظ المنتجات المطبوخة في البرادات التجارية :

المنتـــــج	درجة الحرارة الاعظمية للحفظ	الفترة الاعظمية للحفظ بالساعة
[illegible]	١	١٢
[illegible]	١	٤٨
[illegible]	١	٤٨ ــ ٣٦
[illegible]	١	٣٦
سجق الثوم (بوضع معلق)	٣	٤٨ ــ ١٢
قطع لحمة ضأن مطبوخة مصنعة طازجة	٣	٣٦
فطيرة اللحمة والبسلة	٣	٢٤
كبد في نقانق	١	٢٠
لحمة مفرومة وبسلة مفرودة (خليط مطبوخ)	٣	١٢
لحمة مقطعة في قطع صغيرة	٣	١٠









a)

b)

الشكل (٢ ـ ١) ثلاجة جرة

a : مقطع :

١ : مجموعة التبريد ، ٢ : لمبة ، ٣ : مبخر

٤ : رف للمعلبات ، ٥ : منظم ترموستاتي ،

b : مخطط آلة التبريد :

١ : مجموعة التبريد ، ٢ : مبخر ،

٣ : صمام تنظيم ترموستاتي ، ٤ : منظم ترموستاتي ، ٥ : مبادل حراري

٢ ـ ١ ـ ٨ ـ المنصات :

المنصة تشبه الطاولة الضيقة المغلقة من الأمام ، تتوضع في المحل التجاري ، وتفصل البائعين عن المشترين .

داخل المنصة تتوضع رفوف لحفظ احتياطي غير كبير من السلع. المنصات العائدة المنتجات المبردة والمجمدة تكون مزودة بمدرات معزولة حرارياً وكذلك أرضية وغطاء ، في الجدار الداخلي أو في الغطاء توجد أبواب من أجل الوصول إلى الحجم المبرد .

الشكل (٥ ـ ٨) يوضح منصة ذات درجة حرارة منخفضة مخصصة لحفظ قصير الأمد وتقديم المنتجات المجمدة في المؤسسات التجارية والتغذية العامة .

المنصة تتألف من جزأين : الحجرة المبردة المعزولة حرارياً وقسم الآلات .الحجرة المبردة تتألف من غلافين داخلي وخارجي يتوضع بينهما عازل حراري من البلاستيك الرغوي (بينوبلاست) بسماكة 95 mm ، الغلافين الداخلي والخارجي مصنوعين من صفائح فولاذية رقيقة ، حول السطح الخارجي للغلاف الداخلي تتوضع أنابيب نحاسية متعرجة مكونة المبخر ، تأمين التلامس الجيد بين الأنابيب والغلاف الداخلي يتحقق بواسطة معجونة خاصة ذات موصولية حرارية جيدة .

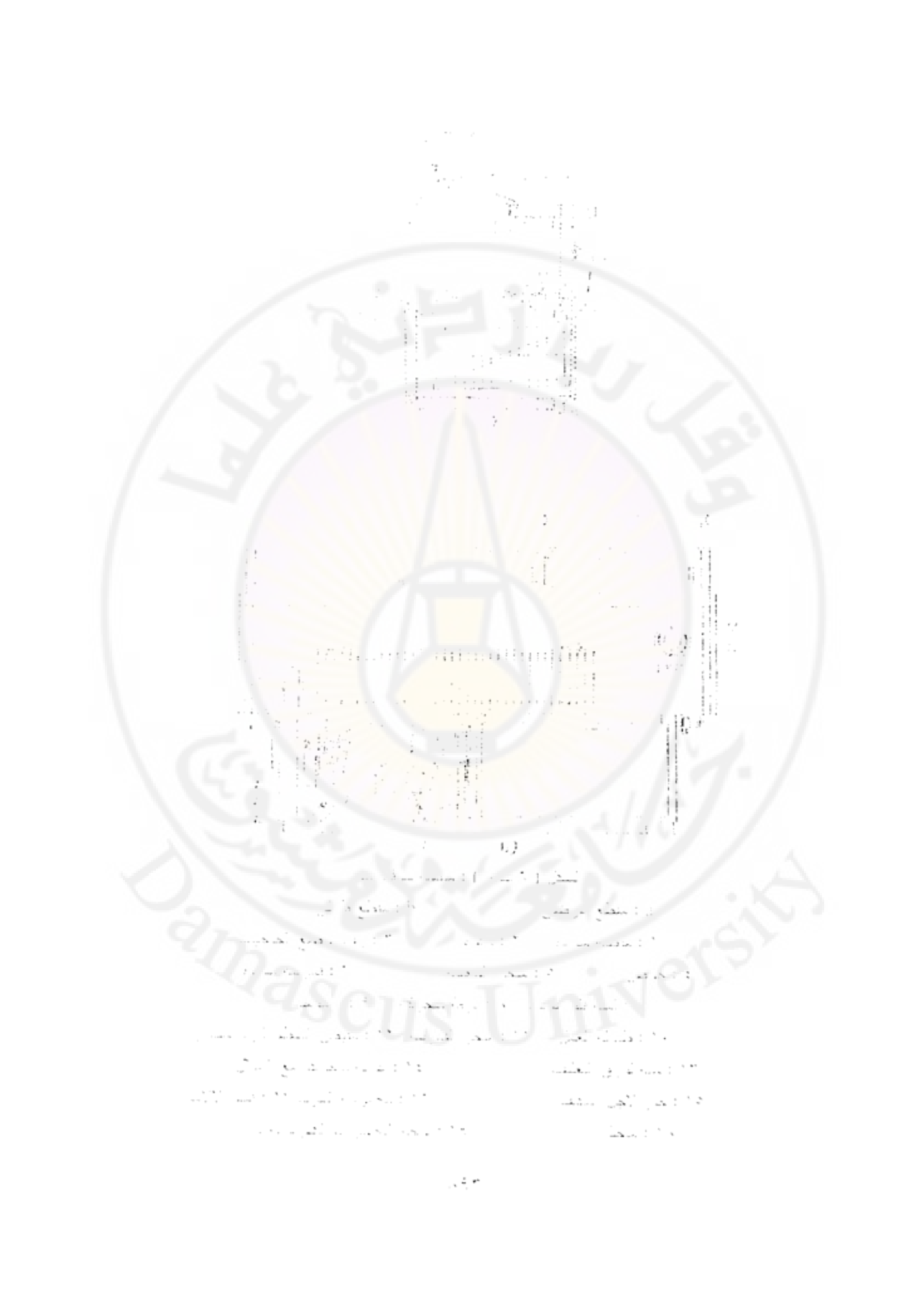
الحجرة مغلقة من الأعلى بدرفة متحركة تتحرك عند فتحها تحت سطح الطاولة درجة الحرارة تنظم آلياً بواسطة ريليه ، وإذابة الجليد عن المبخر بفصل وحدة التبريد وتخرج المنتجات وكذلك الحجرة المبردة ، الماء الناتج يصب في وعاء خاص يتوضع بالأسفل .



(منصة) يوضع عليها الميزان ، تحت طاولة العمل من جهة البائع توجد فجوة يتوضع فيها مبخر الفاترينة مع مروحة ومنظم تنظيم ترموستاتي ومبادل حراري . المبخر منفصل عن الحجم العاملة للفاترينة .

في الجزء السفلي من المنصة ـ فاترينة يوجد اسم الآلة والمنصة المميزة للعناصر الداخلي المنصة مصنع من الألمنيوم ، المقارنة من مستلزمات قياسية يتوفر الأبيض ، العازل الحراري بلاستيك رغوي (بينه بلاست) .

مبخر المنصة يتوضع في الجزء العلوي (تحت قعر الفاترينة) مع وعاء لتجميع البخار المتكاثف ، الدفظ الآلي لدرجة الحرارة يتحقق بواسطة منظم ترموستاتي الجزء الحساس له يثبت على الانبوب عند دخول الفريون إلى مبخر الفاترينة ، إذابة الجليد تتم بفصل مجموعة المبخر عدة 20 min ـ 30 .



٤ ــ ١ ــ ٨ ــ الخزانات :

تتألف الخزانات من الحجم المبرد ، قسم الآلات . يصنع الإطار الخارجي من صفائح فولاذية رقيقة مطلية بالدهان الأبيض أما الغلاف الداخلي للحجم المبرد يصنع من الألمنيوم أو الفولاذ غير القابل للصدأ . الفراغ بين الغلافين يملأ بمادة عازلة (بولسترين رغوي عادة) . الشكل (٧ ــ ٨) يوضح خزانة تبريد تحوي حجرة تبريد تغلق من الأمام بواسطة بابين ذو مصراع واحد ، سماكة العزل الجدران الجانبية والغطاء 100 mm بينما القعر والباب 80 mm .

يتوضع في الخزانة مبخر ذو ريش ، وعاء لتجميع البخار المتكاثف ، ثلاثة رفوف لتوضع المنتجات ، لمبة باستطاعة 25 w والتي تضيء عند فتح الخزانة ، منظم ترموستاتي . قسم الآلات يغلق من الأمام بواسطة شبك قابل للفك ، التركيب أما من الخلف يكون مفتوحا بشكل كامل .



الشكل (٧ ــ ٨) : خزانة تبريدية

a : مقطع b : مخطط آلة التبريد

١ : قفص ٢ : صندوق داخلي ٣ : أنبوبة تصريف

٤ : صندوق خارجي ٥ : لمبة ٦ : وعاء تصريف الماء المتكاثف

٧ : مبخر ٨ : منظم ترموستاتي ٩ : رف شبك للمنتجات

١٠ : باب ١١ : ترموستات ١٢ : شبك قفل الباب

١٣ : إطار ١٤ : وعاء تجميع الماء المتكاثف

٥ ــ ١ ــ ٨ ــ الغرف مسبقة الصنع :

تنتج هذه الغرف بنوعين : غرف ذات درجة حرارة متوسطة لحفظ المنتجات المبردة عند درجة حرارة ($^{\circ}C$ ٢ ÷ ٠) وغرف ذات درجة حرارة منخفضة لحفظ المنتجات المجمدة . تركب الغرفة من ألواح قياسية بشكل أرضية ، سقف ، الجدران ، والزوايا لإحكام التسرب بين الألواح يوضع صفين من المطاط يثبتان على أطراف الألواح .

يتألف اللوح من إطار خشبي وعازل حراري وغلاف . يستخدم البلاستيك الرغوي كعازل حراري سماكة الطبقة العازلة لجميع الألواح 100 mm .

ألواح الغرفة المصنّعة من الخشب تغلف من الخارج بالخشب المعاكس. الألواح المصنعة من المعدن تغلف من الخارج بصفائح من الفولاذ ، من الداخل تغلف الغرفة برقائق من الألمنيوم.

تبرد الغرف بمبخرات أنبوبية مريشة متوضعة تحت سقف الغرفة ، توضع تحت المبخرات دوماً تجميع البخار المتكاثف ، المجموعة المبردة توضع بقرب الغرفة مباشرة ، ويتم الحفاظ على درجة الحرارة في الغرفة بمساعدة ترموستات .

تنبيه الجليد عن المبخر يتم يدوياً عن طريق الإيقاف اليدوي للضاغط .

الشكل (٨ ــ ٨) يوضح غرفة تبريد ، تبرد بوساطة مبخرين موصولين على التفرع ، يحوي مخطط التبريد على مبادل حراري من نوع انبوب ضمن أنبوب .



الشكل (٨ ــ ٨) : غرفة تبريد

١ : شكل المنتجات ٢ : مجرى التصريف

٤ : رفوف المنتجات ٥ : وعاء تجميع المتكاثف

٦ : شبك للأرضية ٧ : باب الغرفة .

٢ ــ ٨ ــ البرادات المنزلية والتجميدات :

تقسم البرادات المنزلية حسب نوع التبريد إلى :

أ ــ البرادات الضاغطية .

ب ــ البرادات الامتصاصية .

ج ــ البرادات الكهروحرارية .

البرادات الامتصاصية ذات حجم وكتلة أكبر مما هو موجود بالبرادات الضاغطية وتصمم فيها للطاقة أكبر بمرة ونصف إلى مرتين ، وحجم القسم ذو درجة الحرارة المنخفضة أصغر . من محاسن البرادات الامتصاصية سهولة تصنيع وعدم وجود صوت أو ضجيج .

١ ــ ٢ ــ ٨ ــ البرادات المنزلية الضاغطية :

تصنف البرادات الضاغطية كالتالي :

١ ــ **حسب الوظيفة** : وتختلف بين برادات لحفظ المنتجات الطازجة وبرادات لحفظ المنتجات الطازجة والمجمدة . برادات النوع الأول لا تحوي على قسم ذي درجة حرارة منخفضة . وفقا للمقاييس الدولية تقسم برادات النوع الثاني إلى ثلاثة أنواع :

أ ــ برادات للحفظ قصير الأمد (بضعة أيام) للمواد المجمدة (درجة الحرارة في القسم ذي درجة الحرارة المنخفضة لا تزيد عن 6 °C ــ) .

ب ــ برادات الحفظ المتوسط (حتى أسبوعين) : (درجة الحرارة لا تزيد عن 12 °C).

ج ــ برادات الحفظ الطويل (حتى ستة أشهر) : (درجة الحرارة لا تزيد عن 18 °C).

٢ ــ **حسب التصنيع** : بهذه الحالة تكون البرادات ذات درجتي الحرارة بحجرة واحدة أو بحجرتين وبعدة حجرات .

في البرادات ذات الحجرتين يتم فصل الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة عن الحجرة ذات درجة الحرارة الموجبة بوساطة حاجز معزول، وكل حجرة مزودة بباب مستقل .

٣ ــ **حسب دوران الهواء في الحجرة** : وهنا تقسم البرادات إلى ثلاثة أنواع :

أ ــ الدوران الطبيعي .

ب ـ الدوران القسري .

جـ ـ الدوران المشترك (في حدى الحجرات قسري وفي الحجرة الثانية طبيعي)

البرادات ذات الدوران الطبيعي للهواء واسعة الانتشار في معظم دول العالم ، والبرادات ذات الدوران القسري منتشرة بشكل واسع في الولايات المتحدة وكندا واستراليا .

حسب التصميم تقسم البرادات ذات الدوران الطبيعي للهواء إلى نوعين :

بمبخر واحد وبمبخرين (أحد المبخرين يبرد الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة والآخر يستخدم في الحجرة ذات درجة الحرارة الموجبة) وفي البرادات ذات الدوران الطبيعي للهواء تتوضع الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة في الأعلى .

٤ ـ حسب درجة أتمتة إذابة الجليد : وهنا نميز بين البرادات اليدوية ونصف الآلية والآلية (الجزئية أو الكاملة) ، عند الإذابة اليدوية يحدد المستهلك لحظة بدء وانتهاء العملية وتتم إزالة الماء يدويا ، عند الإذابة نصف الآلية يحدد فقط بدء الإذابة أما نهاية العملية فتتم آليا ، الماء يزال بشكل يدوي وبشكل آلي .

عند الإذابة الآلية فإن جميع العمليات السابقة تتم بشكل آلي دون تدخل المستهلك . الإذابة الآلية الجزئية ـ هي الإذابة لإحدى الحجرات (في البرادات ذات المبخرين) ، تتم إذابة الجليد من المبخر ذي درجة الحرارة المرتفعة أي في كل مرة يتم الإذابة عن المبخر ذي درجة الحرارة المنخفضة فتتم يدوياً (مرة واحدة كل عدة أشهر) ، الإذابة الآلية الكاملة تزود بها فقط البرادات ذات الدوران القسري للهواء، فيما عدا ذلك لا تستعمل الإذابة الآلية لأن تسخين المبخر بشكل متكرر يؤدي إلى فساد المواد المبردة .

٥ ـ حسب شروط الاستثمار : بهذه الحالة تقسم البرادات إلى :

أ ـ برادات مخصصة للاستثمار في المناطق ذات المناخ المعتدل ويجب أن تؤمن البارامترات الحسابية عند درجة حرارة الوسط المحيط (الهواء) ($t_0 = 16 \div 32\ ^\circ C$).

ب ـ برادات مخصصة للاستثمار في المناطق ذات المناخ الاستوائي وتعمل عند درجة حرارة الوسط المحيط ($t_0 = 18 \div 43\ ^\circ C$).

٢ ـ ٨ ـ البرادات ذات الدوران الطبيعي للهواء :

البرادات ذات سطح واحد من أجل تخفيف قصير الأمد للمنتجات المبردة :

البرادات ذات الحجرة الواحدة : يتم وضع المبرد في الحجرة الوحيدة ويغلق من الباب الوحيد ، وتكون سطوح التبخير مغطاة عن الحجم الأساسي للحجرة ، أو تكون الحجرة من حجرتين كل حجرة لها درجة حرارة مختلفة ، حيث تكون سطوح التبخير مغطاة عن الحجم الأساسي لكل حجرة ، ولكل حجرة درجة حرارة مختلفة عن الحجم الأساسي فتكون درجة حرارة متوسطة .

البرادات ذات الحجرتين : تكون الحجرة الأولى عادة على الجدار الخارجي للبناء وتكون درجة الحرارة المختلفة ، أقل بقليل من درجة حرارة الحجرة الثانية ، وتكون الحجرة الثانية عادة في الداخل ، وتستعمل لحفظ الخضار والفواكه ، وتغلق هذه الحجرة بعض الأحيان من الداخل .

البرادات ذات الحجرات المتعددة : سطوح تبخير :

في هذه البرادات تستعمل البرادات ذات الحجرة الواحدة ، في كل منها تكون درجة الحرارة المختلفة بعيداً عن الحجرة الأخرى ، وتكون الحجرة الواحدة بشكل أفضل .

في البرادات ذات الحجرتين من النوع BAUKNECHT أو النوع KELVINATOR أو النوع ROZENLEW ، في كل حجرة تكون درجة الحرارة المتوسطة بعيداً عن الحجرة الأخرى ، وتكون الحجرة الأولى عادة على الجدار الخارجي للبناء ، وتستعمل لحفظ الخضار والفواكه ، وتغلق هذه الحجرة من الداخل أحياناً .

البرادات ذات الحجرات المتعددة : سطوح تبخير :

في هذه البرادات تستعمل البرادات ذات الحجرة الواحدة ، في كل منها تكون درجة الحرارة المختلفة بعيداً عن الحجرة الأخرى ، وتكون الحجرة الواحدة بشكل أفضل .

في البرادات ذات الحجرتين من النوع BAUKNECHT أو النوع KELVINATOR أو النوع ROZENLEW ، في كل حجرة تكون درجة الحرارة المتوسطة بعيداً عن الحجرة الأخرى ، وتكون الحجرة الأولى عادة على الجدار الخارجي للبناء ، وتستعمل لحفظ الخضار والفواكه ، وتغلق هذه الحجرة من الداخل أحياناً .

بإحكام ، إن وجود المبخر خارج فراغ الحجرة يحسن شكلها الخارجي ويزيد من الحجم المفيد لها كما يسهل توضّع المنتجات وتنظيف الحجرة .

البرادات ذات الحجرة الواحدة والمبخرين تشبه في تصميمها البرادات بحجرتين ، تختلف عنها فقط بكونها تحوي باباً واحداً مشتركاً بدلاً من بابين والقسم السالب يغلق بباب داخلي خاص .

٢ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٨ ـ البرادات ذات الدوران القسري للهواء :

تصنع هذه البرادات بحجرة واحدة وبحجرتين وبثلاث حجرات ، تتميز هذه البرادات بوجود مروحة ومجار للهواء . المبخر المريش والمروحة يوضعان خارج الحجم المفيد للغرفة ، تقوم المروحة بدفع الهواء في المجاري الى حجرات البراد ، لتأمين درجات الحرارة الضرورية في الغرف يستخدم موزع للهواء .

البرادات ذات الحجرة الواحدة ، الحجوم غير الكبيرة (DM^3 ٢٠٠ ÷ ١٥٠) ، تنتجها شركة توشيبا (اليابان) . القسم ذو درجة الحرارة المنخفضة عبارة عن علبة من البلاستيك ، على الجزء الخلفي للعلبة من الجهة الخارجية يثبت مبخر مريّش ، العلبة مع المبخر ملتصقة بكبسولة مصنوعة من البينوبوليسترول ومؤلفة من نصفين، مكان اتصال النصفين يدهن بمعجون خاص يضمن عدم تسرب الكبسولة للهواء، المروحة تركب داخل الكبسولة في الأعلى بتجويف في الجدار الخلفي .

في البرادات ذات الحجرتين يمكن أن يكون توضع الحجرتين بإحدى ثلاثة أشكال :

أ ـ الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة تتوضع بالأعلى .

ب ـ الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة تتوضع بالأسفل .

ج ـ الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة تتوضع بجانب الحجرة ذات درجة الحرارة الموجبة .

إن الشكل الأول هو الأكثر انتشاراً ، المبخر والمروحة يتوضعان في الحائل الحراري الحواجز بين الحجرتين أو على الجدار الخلفي للحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة ، في الحالة الأخيرة فإن الحامل المعدني يفصل المبخر والمروحة عن المنتجات الموجودة في الحجرة .

إنتاج البرادات ذات التوضع السفلي للحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة قليل جداً ، تصميم هذه البرادات مشابه السابقة .

هذه البرادات ذات التوضع المتجاور تتعرف بدرجة أكثر من وجهة نظر استعمال البراد كما أن شكل هذا التوضع يسهل تصميم مجاري الهواء .

في الجزء اليساري البراد وعلى كامل الإرتفاع تتوضع الحجرة ذات درجة الحرارة المنخفضة، في الجزء اليميني تتوضع الحجرة الموجبة ، المبخر والمروحة تتوضعان على الجدار الخلفي للحجرة السالبة . والجدار الذي يفرقهما عن الحجرة الموجبة ، في الجزء العلوي للحجرة السالبة يركب غالبا مولد جليد آلي ، وبعض البرادات مجهزة بجيز لتبريد الماء متوضع في الحجرة الموجبة . البرادات المزودة بمولد جليد وبمبرد ماء توصل بشبكة الماء .

في البرادات ذات الثلاث حجرات يمكن أن نجد شكلين لتوضع الغرف ، الشكل الأكثر انتشارا هو توضع الحجرة الموجبة في القسم اليميني ، أما في القسم اليساري بالأسفل تتوضع الحجرة السالبة ويتوضع فوقها في حجرة مستقلة مولد الجليد . في الشكل الأخر التوضع تعد الحجرة العلوية حجرة عامة (ذات نظام حراري عام) ، مولد الجليد فيتوضع في الحجرة السالبة . درجة الحرارة في الحجرة العامة تنظم في مجال واسع (١٥ °C : ٥ +) ، في هذه الحجرة يمكن حفظ المنتجات المبردة والمجمدة .

٢ ـ ١ ـ ٢ ـ ٨ ـ دوران الهواء في دورة غرفة المنزلي :

أ ـ في الغرفات ذات الدوران الطبيعي للهواء :

ـ عندما يرتفع سخان ، فإنه يحرر الحرارة المكتسبة للهواء :

يرتفع الهواء في السخان عن طريق فتحة في أعلاه ، ثم ينطلق خارج السخان ، فإنه يكون أخف في السخان مقارنة في البيئة ، فينطلق من جميع جوانب السخان عن السقف ، ثم يعود للسخان ليسخن ثانية .

عندما يتم تسخين الهواء في السخان يتفرق من درجة حرارة قسم السقف ، ثم يكتسب الحرارة المنبعثة عن السخان (١٥ : ٢٠) مرة من كمية الحرارة المنبعثة عن السخان من سطوح .

عندما يكون الهواء مفتوحاً في السخان ، فإن درجة حرارة الهواء في مرتفع السخان تختلف حسب الحرارة ، فتكون درجة الحرارة في قسم السقف مرتفع عن قسم السخان تختلف بمقدار (٣ : ٤) (في مجال درجة حرارة واسط المحيط (16 : 32) درجة الحرارة عند أرض الغرفة تكون مقبولة كثيراً من درجة الحرارة عند أرض السقف .

ـ عندما ترتفع درجة حرارة السخان :

إن قسم السقف يعود ليرتفع فيه درجة الحرارة تختلف السخان بمقدار عن تختلف درجة الحرارة في قسم السقف بمقدار (٣ : ٦) (قسم السقف مع تلك المختلفة لدرجة حرارة الهواء المحيط) ، فتكون درجة الحرارة في قسم السقف غير كثير والمقدار (٣ .

يدل الهواء بين قسم السقف ، فإنه يتطلق من خلال ثقوب فتحة في السخان



Damascus University

في أعلى الحجرة ينقسم التيار الهوائي الأول إلى قسمين ، القسم الأكبر يدخل إلى الحجرة السالبة عبر الشقوق بين جدار الحجرة ومجرى الهواء ٥ ، القسم الأصغر من الهواء يدخل إلى الحجرة الموجبة عبر القناة ٦

كمية الهواء الداخلة إلى الحجرة الموجبة تنظم بوساطة بوابة . الهواء الدافئ يسحب من الحجرة الموجبة عبر القناة ٨ المتوضعة في الجزء الأسفل للحجرة . القناة ٨ توجه الهواء مباشرة إلى الجزء الأسفل للمبخر ٢ ، المبخر معزول عن الحجرة بوساطة جدار معدني ولذلك فإن الهواء الرطب العائد من الحجرة الموجبة لا يمتزج مع الهواء الجاف للحجرة السالبة ، الهواء المسخن للحجرة السالبة يدخل إلى الجزء الأوسط للمبخر (وفق الارتفاع) عبر شقوق في الجدار الواقي للمبخر .

٣ ـ ٨ ـ صناديق البرادات :

بالنسبة لمعظم البرادات التي تنتج في روسيا يتألف الصندوق من هيكل وحجرات وأبواب وعزل حراري ، ينجز الهيكل من صفائح معدنية وعناصر حاملة ، الجزء الهام من الهيكل هو صفيحة فولاذية بشكل II بسماكة (0,8 ÷ ١ mm) ، الجدار الخلفي والقعر وعناصر الهيكل الأخرى توصل بالصفيحة بوساطة اللحام الكيربائي . يمتد القعر باتجاه الخلف إذ يركب عليه الضاغط ، يطلى هيكل الصندوق من الخارج بالمينا الاصطفاعي ، في هيكل الصندوق تتوضع الحجرة ويملأ الفراغ بين الهيكل والحجرة بالعازل الحراري ، يغلق الصندوق من الأمام بوساطة باب يثبت على محيط جداره الداخلي جوان إحكام مع مغناطيس . بالنسبة للبرادات المصنعة في البلدان الأخرى فإن الصندوق يحوي فقط جدران جانبية أما من الخلف فيغطى العزل بورق الألمنيوم .

تصنع الحجرات من المعدن أو البلاستيك ، الحجرات المعدنية تتألف من قعر وجدران جانبية وخلفية وسقف (جزء علوي) مصنعة من ألواح فولاذية (0,6 ÷ 0,9 mm) .

تستخدم أيضا الصفائح ذات الشكل H والتي تتألف من جزئين جانبية وسقف يدعم عليها الجدار الخلفي المصنع سوية مع القمر. تدعم أجزاء الحجرة مع بعضها وتتلاءم بالضبط السليكوني ، خلال عملية الطلاء تعرض الحجرة مرتين للشوي . في المرة الثانية يغلس السطح الداخلي للحجرة بالمينا الأبيض .

يمكن ان تصنع الحجرات من صفائح الالمنيوم المغلف بالبلاستيك، تثبت الحجرة المعدنية بهيكل الصندوق بوساطة البراغي . لتجنب تسرب الحرارة توضع في أمكنة اتصال الحجرة المعدنية مع الهيكل حشوات بلاستيكية أو عازلة ، الفراغ بين هيكل الصندوق والحجرة يغلق من الإعلى بواسطات مصنوعة من البلاستيك وذلك لمقاومة تسرب الحرارة إلى الحجرة من الخارج ولكي لا تعمل كجسر حراري بين الهيكل المعدني والحجرة . تصنع الحجرات البلاستيكية من رقائق البولستيرول المقاوم للصدمات ذي سماكة (٦ mm ÷ ٤) . الحجرات البلاستيكية اقل مقاومة للتآكل وتأثير الحموض وتشكل الدفع الناتجة عن المنتجات الغذائية بالمقارنة مع الغرف المطلية بالمينا . ولكن على المينا لا تظهر البكتريا والعفن .

باب الصندوق عبارة عن صفيحة فولاذية يثبت عليها من الجهة الخلفية كساء (غلاف) مع جوان إحكام . توضع بين الغلاف والصفيحة طبقة من العازل الحراري . تثبت على الصفيحة المفصلات وقبضة الباب .

الغلاف الداخلي للباب مجلفن بارفوف ويصنع من البوليستيرول المقاوم للصدمات بطريقة التشكيل الانطلاقي ، الجيد او القوة المطبقة على قبضة الباب من اجل فتحه يجب أن تشكل ١٥ ÷ ٧٠ N .

يجب أن يتحمل الباب وعناصره ما لا يقل عن 100,000 (مئة ألف) عملية فتح وإغلاق .

تستخدم في البرادات المنزلية كعازل حراري الألياف الزجاجية أو البيتوبولستيرون او البيتوبوليوريتان . الكتلة الحجمية للألياف الزجاجية (٣٠ ÷ ٢٥ kg/m³) . معامل التوصيل الحراري للألياف الزجاجية $\lambda = 0,04$ w/mk .

الشعرية يدخل إلى المبخر ٤ حيث يغلي عند ضغط منخفض ، يتم سحب وسيط التبريد من المبخر عبر أنبوب السحب .

قسم من نظام المجموعة التبريدية بدءاً من صمام دفع الضاغط وحتى الأنبوبة الشعرية يقع تحت ضغط مرتفع . أما القسم الآخر بدءاً من المبخر وحتى صمام سحب الضاغط يقع تحت ضغط منخفض .



الشكل (١٠ ــ ٨) مجموعة تبريد ضاغطية بمبخر واحد

١ : ضاغط ٢ : أنبوب دفع ٣ : مكثف

٤ : مبخر ٥ : أنبوب سحب ٦ : مصفاة ــ مجفف .

٧ : أنبوبة خلق شعرية .

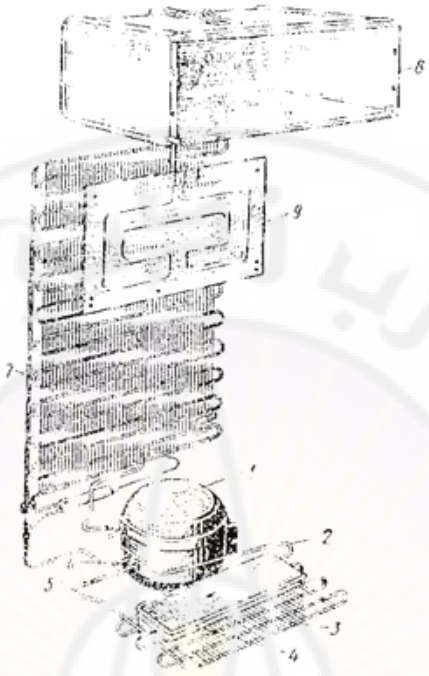
٢ ــ مجموعات تبريدية بمبخرين :

يوصل المبخران على التسلسل وثمة حالتان لتصميمهما :

- في الحالة الثانية والأكثر شيوعاً يدخل المبرد كمية من السائل المبرد الموجودة في الحجرة الشعرية إلى مبخر الحجرة السائلة حيث يدخل عن طريق منظم خاص الفريون السائل المتشكل يدخل إلى مبخر الحجرة الموجبة . في هذه الحالة وعند درجة حرارة منخفضة للهواء السيدا يكون مبخر الحجرة الموجبة مملوء بخليط من البخار والسائل بنسبة بخار كبيرة .
- في الحالة الثالثة يدخل الفريون في السائل إلى مبخر الحجرة الموجبة عن طريق أنبوب شعري إلى مبخر الحجرة السائلة ، في مثل هذا النمط من الأنابيب يكون مبخر الحجرة الموجبة مملوء بشكل جيد بالفريون في جميع أنظمة العمل .

٢ ـ مجموعات تبريدية مع مبرد زيت :

مهمة مبرد الزيت طرح الحرارة من الضاغط . الضاغط ١ (الشكل ١١ ـ ٨) يدفع الفريون إلى مبرد الزيت ٢ الذي يشبه بتصميمه المكثف ٣ . يدخل الفريون السائل والبخار جزئياً في الحجرة إلى أنبوب الزيتوني في حمام زيت الضاغط . حيث يتبخر مبرد الزيت بعد ذلك تلك الدورة كما ورد في الفقرة السابقة ، يتوضع مبرد الزيت إلى جانب المكثف أو تحت قسم الآلات .



الشكل (١١ ــ ٨) . مجموعة تبريدة ضاغطة بمبخرين وبارد ماء

١ : ضاغط ٢ : أنبوب دفع ٣ : مبرد زيت

٤ : وعاء أمام الإلية ٥ ، ٦ : أنبوبتي الدخول والخروج لطرزون مبرد الزيت

٧ : مكثف ٨ : مبخر ذو درجة حرارة منخفضة ٩ : مبخر موجب .

١ ــ ٤ ــ ٨ ــ عناصر المجموعات التبريدية :

١ ــ **الضواغط** : تستخدم في التبريدات المنزلية ضواغط مكبسية دورانية بإنتاجية تبريدية اسمية (١٧ ٣٠٠ ÷ ٤٥) ، ولقد لاقت الضواغط المكبسية انتشارا واسعا .

٢ ــ **المبخرات** : وتصنف بحسب نوع التصميم إلى مبخرات أنبوبية مستوية ومبخرات أنبوبية .المبخرات الأنبوبية الصفيحية عبارة عن صفيحتين من الألمنيوم ، موصولتين بالثقبة تحت ضغط نوعي كبير . بعد ذلك تشكل قنوات فيهما بوساطة سائل تحت ضغط Kpa ١٠٠٠٠ ÷ ٨٠٠٠ .

٣ ـ المكثفات : وتصنف بحسب المفاهيم إلى مكثفات أنبوبية ومكثفات أنبوبية صفيحية .

مكثفات النوع الأول عبارة عن أنابيب حلزونية فولاذية تلف عليها الريش . تصميم المكثفات ذات الأنابيب الصفيحية مشابه لتصميم المبخرات الأنبوبية الصفيحية المذكورة أو المطورة .

بحسب نوع التريش تصنف المكثفات الى مكثفات ساكية ، مكثفات رقائقية ، مكثفات ساكية حلزونية ومكثفات حلزونية .

المكثفات الساكية عبارة عن أنابيب متعرجة قطرها الخارجي (4,5 ÷ 6,5mm) ، تلحم عليها من جهتين متقابلتين اسلاك فولاذية مستقيمة بقطر (1,5 : 2,5 mm) تأخذ دور الريش ، محور السلك يتعامد مع محور الأنبوب ، خطوة الأنابيب (٤٠ ÷ ٦٠ mm) ، وخطوة الأسلاك (٦ ÷ ٩ mm) ، معامل التريش (٣ ÷ ١٠) .

توضع المكثفات الساكية بأحد شكلين : توضع بأنابيب أفقية وأسلاك عمودية ، توضع بأنابيب عمودية وأسلاك أفقية .

في حالة المكثفات الرقائقية توضع على الأنابيب المتعرجة ريش مستطيلة الشكل وبشكل متعامد على محور الأنبوب ، محور الأنبوب موضع بشكل أفقي . تستخدم أنابيب بأقطار خارجية (٦ ÷ ١٠ mm) وريش مستمرة من الفولاذ سماكة (0,2 ÷ 0,8 mm) ، خطوة الأنابيب المتعرجة (٢٠ ÷ ٣٥ mm) ، خطوة الريش (٤ ÷ ١٢ mm) ، ومعامل التريش (٧ : ٢٠) . تلامس الأنابيب بالريش يتم بوساطة اللحام بالقصدير أو النحاس أو الزنك .

في المكثفات الصفائحية تثبت الأنابيب ذات القطر (٥ ÷ 6mm) على صفيحة تأخذ دور الريش ، توضع الأنابيب عادة يكون بشكل عمودي ، سماكة الصفيحة (0,8 ÷ 1,0 mm) ، خطوة الأنابيب (٣٥ ÷ ٦٠ mm) ، ومعامل التريش (٧ ÷ ١٠) ، سرعة تيار الهواء في مجال درجة الحرارة (٣٢ ÷ ٦٠ °C) تشكل (0,4 : 1,3 m/s) .

المكثفات ذات التريش الحلزونية تتصف بالحجم الصغير والمؤشر الحراري المرتفع ، القطر الخارجي للأنبوب في حد الصنع 4,75 mm ، التريشة من الفولاذ بارتفاع 3,5 mm ، بسماكة 0,7 mm ، خطوة الحلزون 3,5 mm ، معامل التريش ٧ .

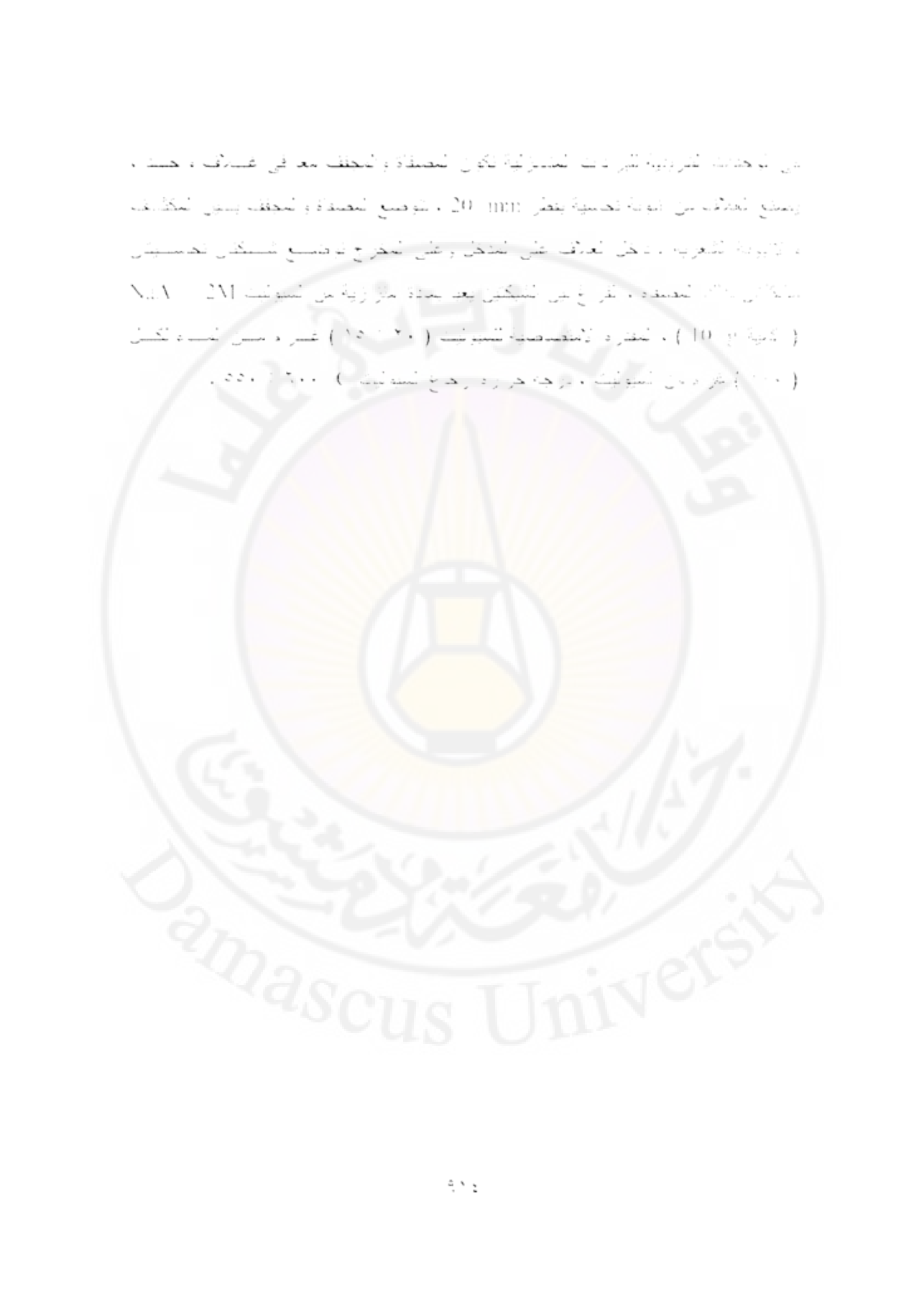
تقسم المكثفات بحسب **طريقة طرح الحرارة** إلى أجهزة ذات حركة طبيعية وأجهزة ذات حركة قسرية للهواء ، من بين المكثفات ذات الحركة الطبيعية للهواء تعتبر المكثفات السلكية والصفائحية أكثر انتشاراً ، معامل الانتقال الحراري في هذه المكثفات $w\,m^{-2}k$ ١٢ ÷ ٩ ، في حالة الحركة القسرية للهواء بمساعدة مروحة تستخدم المكثفات الرقائقية .

٤ ـ **المبادل الحراري الإرجاعي** : المبادل الحراري الإرجاعي للمجموعة التبريدية يتألف من أنبوب سحب بقطر خارجي mm ٨ ÷ ٦ ، ومن أنبوبة شعرية ، سطح الانتقال الحراري من جهة البخار أكبر عدة مرات منه لجهة السائل المتدفق بالأنبوبة الشعرية . طول المبادل الحراري بشكل عادة (m 1.2 ÷ 0,9) . قطارات السائل المطروحة من المبخر تتبخر في المبادل الحراري وبالتالي فإن الضاغط يسحب بخاراً محمصاً .

تستخدم ثلاثة أشكال من المبادلات الحرارية . في الشكل الأول و الأكثر انتشاراً كلا الأنبوبين ملفوف على طول (m 1.5 ÷ ١) ، في الشكل الثاني توضع الأنبوبة الشعرية على أنبوب السحب وتلحم عليه . هذا الشكل يستعمل عندما يكون أنبوب السحب قصيراً (البرادات الصغيرة) ، في الشكل الثالث الأنبوبة الشعرية توضع داخل أنبوب السحب ، بهذه الحالة تكون الأنبوبة الشعرية معزولة عن الحمل الحراري الخارجي .

٥ ـ **الأنبوبة الشعرية** : وهي أداة خنق وتتوضع على خط وسيط التبريد بين المكثف والمبخر ، تصنع الأنبوبة الشعرية من النحاس ، القطر الخارجي للأنبوبة (mm 0,10 ± 2) والقطر الداخلي (mm 0.85 . 0.82 . 0,8) ، طول الأنبوبة في حدود (m ٤ ÷ ٢) . مقاييس الأنبوبة ، بالتالي مقدرتها لتمرير الوسيط يجب أن يؤمن تدفق فريون بكمية تساوي إنتاجية الضاغط ، الأنبوبة الشعرية يجب أن تؤمن تساوي الضغط في المكثف والمبخر خلال زمن توقف الضاغط عند الحمل الدوري للبراد . وهذا يسهل إقلاع المحرك الكهربائي .

٦ ـ **المصفاة والمجفف** : المصفاة مخصصة لحماية الأنبوبة الشعرية من الانسداد ، والمجفف لامتصاص الماء من وسيط التبريد وتجنب تجمده في الأنبوبة الشعرية .



الفصل التاسع

محطات النقل التبريدية

٩ ـ ١ ـ النقل التبريدي بالسيارات

٩ ـ ٢ ـ الأشكال الأساسية لوسائط النقل التبريدي :

Damascus University

تتحدد بشكل يتعلق بالزمن اللازم للنقل ، وذلك لتجنب زيادة درجة حرارة المنتجات . ومن هذا الشرط يتحدد احتياطي التبريد .

تتسبب في السيارات الايزوترمية دقائق خاصة شتاء (عندما تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة الحرارة المطلوبة داخل الصندوق) تعمل على الغاز الخارج من المحرك الاساسي للسيارة .

السيارات المبردة تعمل على آلات تبريد ضاغطة أو وسائل تبريدية أخرى مع احتياطي من المادة المبردة (الازوت السائل أو جليد الماء وغيرها) ومع نظام آلي لحفظ درجة الحرارة في الصندوق خلال فترة لا تقل عن 12 h .

في كثير من الحالات ، وخاصة تسيير تلك البرادات كبيرة الحمولة تستخدم محطات تبريد ثابتة عامة ، والتي تتمكن أن تعمل كبرادات صيفا ومسخنات شتاء . اذا كانت درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة الحرارة المطلوبة في داخل الصندوق ، فإن نظام الأتمتة يقوم بتحويل منظمة التبريد لتعمل بالدورة المعكوسة . عند ذلك تتمكن يصبح مبخر والمبخر يصبح مكثف .

تقسم وسائل النقل التبريدي بالسيارات بحسب الحمولة إلى :

١ ــ برادات ذات حمولة صغيرة حتى (١) طن للنقل داخل المدن بكميات صغيرة .

٢ ــ برادات ذات حمولة متوسطة (٥ ــ ٢) طن للنقل داخل المناطق وتعمل بكميات متوسطة .

٣ ــ برادات ذات حمولة كبيرة (٢٠ ــ ٥) طن للنقل بين المدن وبين المناطق وبين الدول بكميات كبيرة .

البرادات ذات الحمولة الصغيرة والمتوسطة تصنع عادة بشكل سيارة موحدة مع الصندوق الايزوترمي المتوضع على شاسيه واحدة مع كبين السائق ومحرك السيارة .

أما البرادات ذات الحمولة الكبيرة وأحيانا المتوسطة تصنع بشكل قطرة وقطورة .

بحسب خواص العزل الحراري تصنف برادات النقل بالسيارات الى :

١ ــ برادات ذات عزل عادي وفيها يكون معامل الانتقال الحراري الكلي للصندوق $K \leq 0.7\ W/m^2k$

٧ ـ سيارات ذات عزل مقوى وفيها يكون معامل الانتقال الحراري الكلي $K \leq 0.4\ W / m^2 k$

حسب الوظيفة ودرجة الحرارة المطلوبة داخل الصندوق t_i تصنف السيارات البراد إلى الأصناف التالية عند درجة حرارة الهواء الخارجي $t_e = 30\ °C$:

A) $t_i = +12 \div 0\ °C$

B) $t_i = +12 \div -10\ °C$

C) $t_i = +12 \div -20\ °C$

D) $t_i = +2\ °C$

E) $t_i = -10\ °C$

F) $t_i = -20\ °C$

السيارات البراد ذات الأصناف A,B,C تضمن الحفاظ على درجة حرارة معطاة في الصندوق الواردة أعلاه ، أما السيارات البراد ذات الأصناف D,E,F مخصصة عمليا للحفاظ على درجة حرارة واحدة ثابتة كما هو مشار أعلاه .

تقسم السيارات الايزوترمية (مع مصدر تبريدي من جليد الماء أو الجليد أو الغاز المضغوط وغيرها) بحسب إمكانيتها لتخفيض درجة الحرارة داخل الصندوق والحفاظ عليها خلال 12 h وعند درجة حرارة الهواء الخارجي 30 °C إلى الأصناف التالية :

A) $t_i = +7\ °C$

B) $t_i = -10\ °C$

C) $t_i = -20\ °C$

وسائط النقل B,C,E,I يجب أن تتمتع بعازل حراري أما الأصناف D,A يمكن أن تتمتع بعازل حراري عادي $K \leq 0.7\ w / m^2 k$.

السيارات الايزوترمية المزودة بأنظمة تبريد والتي تتمكن من رفع درجة حرارة الهواء داخل الصندوق الفارغ إلى حد معين والحفاظ عليها لمدة لا تقل عن 12 h بشكل ثابت عمليا على مستوى لا يقل عن 12 °C تقسم إلى أصناف بحسب درجة حرارة الهواء الخارجي t_e:

A) $t_i = -10\ °C$

B) $t_i = -20\ °C$

معمل الكفاءة الحرارية للصندوق الشمسي ذو الحجرة الداخلية B حسب الاختبار ٢ :

٢ ـ ١ ـ ٩ ـ الحسابات الحرارية للصناديق الايزوثرمية :

معادلة توازن الحرارة في الحجرة الصندوق الايزوثرمي تأخذ الشكل التالي :

$$Q_{\text{ا}} = Q_{\text{ا}} + Q_{\text{ا}} + Q_{\text{ا}} + Q_{\text{ا}}$$

$Q_{\text{ا}}$: كمية الحرارة التي يكتسبها المصدر الشمسي خلال فترة الاختبار (W).

$Q_{\text{ا}}$ ـ كمية الحرارة التي يفقدها الجزء الداخلي للصندوق (W).

$Q_{\text{ا}}$ ـ كمية الحرارة المتراكمة في الوسط المحفظ (W).

$$Q_{\text{ا}} = L_{\text{ا}} \left(Q_{\text{ا}} + Q_{\text{ا}} + Q_{\text{ا}} \right)$$

$L_{\text{ا}}$ ـ معامل الحيطة.

$Q_{\text{ا}}$ ـ فقد الحرارة عبر الجدران الصندوق (W).

$$Q_{\text{ا}} = K_{\text{ا}} \left(t_{\text{ا}} - t_{\text{ا}} \right)$$

$K_{\text{ا}}$ ـ معامل انتقال الحرارة لكل الصندوق $W/m^2.K$.

$t_{\text{ا}}$ ـ درجة الحرارة المتوسطة للجزء الداخلي للصندوق (°C).

$t_{\text{ا}}$ ـ درجة الحرارة الداخلية للصندوق (°C).

$Q_{\text{ا}}$ ـ فقد الحرارة الناتج عن تبخر الماء المتبخر (W).

$$Q_{\text{ا}} = 0.5 K_{\text{ا}} \left(\frac{M}{24} \right)$$

M ـ كمية الماء المتبخر خلال فترة الاختبار في الصندوق في وحدة الزمن kg/day.

24 ـ عدد الساعات في اليوم (h/day).

Q ـ كمية الحرارة المكتسبة من الشمس (W).

$$Q_{\text{ت}} = \frac{V_{\text{ت}}}{\eta_{\text{ت}}} \cdot (i_2 - i_1)$$

$\eta_{\text{ت}}$ – مردود التبريد في المضغوط (يتعلق بكفاءة المضغوط وبنسبة الضغط) ($\eta_{\text{ت}} = 0.8$).

$V_{\text{ت}}$ – حجم البخار المضغوط (m^3).

i_1 – المحتوى الحراري للبخار الخارج من المبخر (kJ/kg).

i_2 – المحتوى الحراري للبخار الخارج من المضغوط (kJ/kg).

ρ_1 – كثافة البخار الخارج (kg/m^3).

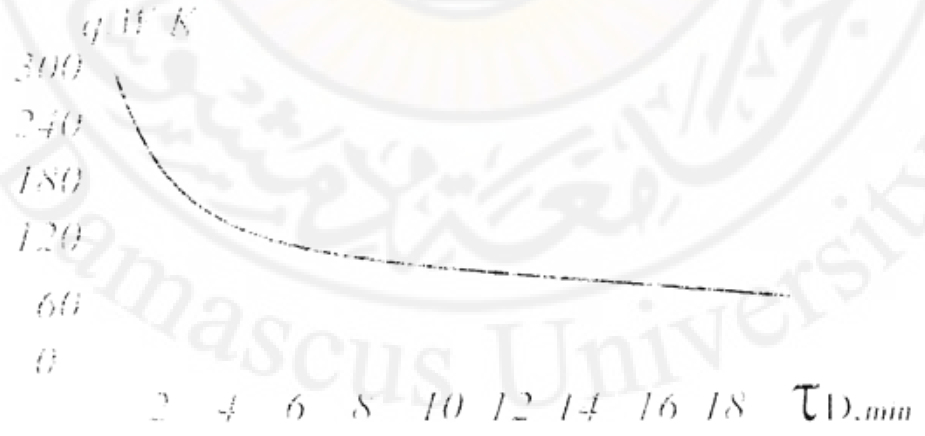
$Q_{\text{ت}}$ – الاستطاعة المطلوبة لمحرك المضغوط (W).

$$Q_{\text{ت}} = \frac{q_{\text{ت}} \cdot \tau_{\text{ت}} \cdot T_{\text{ت}}}{60 \cdot \tau_{\text{ت}}}$$

$q_{\text{ت}}$ – الاستطاعة التبريدية المطلوبة من المبخر (W).

$\tau_{\text{ت}}$ – الزمن الدوري لتشغيل المضغوط (min).

$T_{\text{ت}}$ – مدة التشغيل المطلوبة (h).



الشكل (٣-٢٠): تغير الاستطاعة التبريدية للمبخر مع الزمن الدوري لتشغيل المضغوط

Q_{ak} ـــ الحرارة المكتسبة من العزل الحراري لجدران الصندوق عند تبريده بمقدار Δt (°C) خلال زمن $\Delta\tau$ (h) .

$$Q_{ak} = W_K \cdot \frac{\Delta t}{7.2\Delta\tau}$$

W_K ـــ المكافئ المائي للعزل KJ/KgK .

$$W_K = \Sigma(G_K \cdot C_K)$$

G_K ـــ كتلة المادة العازلة أو مادة الصندوق (Kg) .

C_K ـــ الحرارة النوعية للمادة الموافقة (KJ/Kg K) .

Q_{ap} ـــ الحرارة المكتسبة من المنتج ـــ الغذائية والأغلفة عند تغير درجة الحرارة بمقدار Δt (°C) .

$$Q_{ap} = G_p \cdot C_p \cdot \frac{\Delta t}{3.6\Delta\tau}$$

G_p ـــ كتلة المنتج (Kg) .

C_p ـــ الحرارة النوعية للمنتج (KJ/Kg K) .

Q_p ـــ الحرارة المنبعثة من المنتجات الغذائية (التنفس ـــ التخمر وما شابه) (W) .

$$Q_p = 10^{-3} G_p.q$$

q ـــ الحرارة المنبعثة من واحدة الكتلة للمنتج عبر واحدة الزمن (وهي تتعلق بدرجة الحرارة t والتي تتغير بتغير الزمن) (W/T) .

عند تحديد قيمة Q_p يمكن استخدام قيم تقريبية (W/T) كما هو وارد في الجدول (١ ـــ ٩) .

في الحسابات العملية عند تحديد الإنتاجية التبريدية للمعدة التبريدية أو الحاوية المعدة للمبردة (الجليد الجاف أو جليد الماء ، الأزوت السائل و غيرها) تحسب Q_{ak} بالعلاقة

$$Q_{ak} = W_K \cdot \frac{t_e - t_i}{7.2\tau_f}$$

... زمن الرحلة (h) .

الجدول (١ – ٩) فترة صلاحية بعض المنتجات (د. ب. ي) :

المنتج	درجة الحرارة °C		
	0	٥	١٠
البرتقال	10,5	18,6	35
العنب	9,2	24,5	36
الأجاص	19,7	46,5	62,5
البازلاء الخضراء	104	188	265
القرنبيط (الزهرة)	62,5	78	138
البطاطا	19,7	24,5	25,5
الليمون	9,2	19,7	32,5
الخيار	19,7	33,5	60
الدراق	18,6	40,5	92
الخوخ	٢,٨	٦٥	١٢٦
رب البندورة	17,5	26,7	40,5
الفاصولياء	٨٠	٩٢	١٨٣
الكرز	٢٢	٥٣	١٠٧
السانخ	٨٢	١٩٨	٣٠٠
الكمثرى	18,6	31,5	60
العجبة	٧٣	٩٦	١٣٣
الخس	٣٨	٥١	٧٠
الملفوف	32,5	٨٨	١٣٨

٣ ـ ١ ـ ٩ ـ أنظمة تبريد السيارات البراد :

تختلف نظم التبريد المناسب بتعلق بوظيفة سيارة البراد . تكاد معظم التبريد المستخدم هي التبريد الضاغطي (باستخدام الضاغط) التبريد الضاغطي ـ التركيبي التبريد بمساعدة الجليد الجاف . والتبريد بوساطة الغازات المسيلة (الزيوت ، البوادي ، غيرها) .

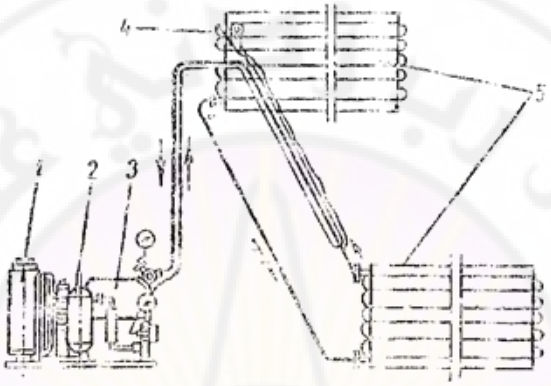
١ ـ التبريد الضاغطي : ويستخدم في السيارات البراد ذات الحمولات المختلفة للحفاظ على درجات الحرارة المطلوبة في المجال (من 12 °C + وحتى 20 °C -) أكثر آلات التبريد انتشارا هي الآلات العاملة على الفريون بضاغط من النوع المفتوح يقاد مباشرة بوساطة محرك احتراق داخلي متنقل .

في بعض الحالات يمكن أن تزود قياده الضاغط مزدوجة أي انه في محطات التوقف يقاد الضاغط بوساطة محرك كهربائي يتغذى من شبكة كهربائية خارجية .

في السيارات البراد ذات الحمولة الصغيرة والمتوسطة يمكن أن يقاد الضاغط مباشرة من المحرك الأساسي للسيارة . بالنسبة للسيارات ذات الحمولة الكبيرة فإن محطات النقل التبريدية المزودة بضاغط يغذى كهربائيا من مجموعة عاملة على الديزل لاقت انتشارا واسعاً في الآونة الأخيرة .

المكثف في هذه المحطات عبارة عن أنبوب مزيش بتبريد هوائي . المبخر ينجز بشكل مبرد هواء مجاور مباشرة للمكان المبرد . الشكل (٢ ـ ٩) يبين إحدى المخططات الممكنة لآلات التبريد هذه :

السيارة (عادة ليلاً) توصل المجموعة التبريدية بشبكة الكهرباء الثابتة وتستخدم عادية تجميد المحلول في ألواح تخزين البرودة . نهارا وعند تحرك السيارة لا يعمل الضاغط أما البرودة المخزنة في الألواح تصرف لامتصاص التيارات الحرارية المنسربة .



الشكل (٣ ـ ٩) : مخطط نظام التبريد الضاغط التركيبي

١ : كثف هوائي ٢ : مستقبلة ٣ : ضاغط .

٤ : صمام تنظيم ترمو ستاتي ٥ : مبخرات ومدكمات .

اختيار حجم الألواح (كمية المحلول) يتعلق بقيمة التيارات الحرارية خلال زمن الرحلة ، درجة حرارة تصنيع أو تجميد المحلول تتعلق بحمولة التبريدية ، والتي يتم تخزينها بشكل يتعلق بدرجة حرارة الهواء الواجب الحفاظ عليها داخل الصندوق .

هذا النظام أبسط بالمقارنة مع التبريد الضاغطي ، ومن محاسن هذا النظام ايضا ، عدم صدور ضجيج أثناء الرحلة ، وعدم وجود غازات عادمة والوثوقية الجيدة لأن الضاغط يعمل فقط عند الوقوف .

من مساوئ النظام الضاغطي ـ التركيبي :

أ ـ الكتلة الكبيرة وهذا يقلل من الحمولة المفيدة للسيارة .

ب ـ زمن تعمل بين عمليتي شحن متتاليتين محدود .

ج ـــ عدم إمكانية إسراع التبريد والذي يمكن أن يكون ضروريا في بعض الحالات نتيجة وصول الأحمال الحرارية إلى الذروة .

٣ ـــ التبريد بوساطة الجليد الجاف : هذا النوع من التبريد أكثر اقتصادية ويحظى باستخدام أكثر عند نقل المنتجات الغذائية المختلفة المجمدة إلى مسافات غير طويلة .

كمية "الجليد الجاف" G_i (Kg) التي يجب شحنها في الصندوق مع المنتجات تحسب بالعلاقة التالية :

$$G_i = \frac{Q_1 + Q_e \cdot \tau \cdot 3.6}{q_i}$$

إذ Q_1 ـــ كمية البرودة الضرورية للتبريد الأولي للصندوق KJ .

$$Q_1 = W_B \cdot t_m$$

W_B ـــ المكافئ المائي للصندوق .

t_m ـــ درجة الحرارة الوسطية لجدران الصندوق

$$t_m = \frac{t_e + t_i}{2}$$

Q_e ـــ الإنتاجية التبريدية المحددة بالحسابات الحرارية اللازمة للتغلب على التيارات الحرارية من الشارج (W) .

τ ـــ زمن الرحلة (h) .

q_i ـــ حرارة انصهار الجليد

$$qi = 640 \quad KJ/Kg$$

لتكثيف عملية التبريد وتخفيض من الارتفاع الملحوظ لنسبة غاز الكربون في الصندوق يوضع الجليد في صناديق مفصولة بإحكام ويوجه عليها الهواء بواسطة مروحة .

السيئة الرئيسية لهذه الطريقة من التبريد هي عدم إمكانية تنظيم نقل البرودة وبالتالي درجة الحرارة في الصندوق . باستخدام النظام الموضح على الشكل (٤ ـ ٩) يمكن الحد من هذه السيئة .

يعبأ الجليد الجاف المكسر في الصومعة المصنوعة من جدران بشكل ألواح معدنية وبداخلها يدور الفريون . ألواح مشابهة 2 توضع في صندوق الشحن وتوصل بألواح الصومعة بوساطة أنابيب .

حسب مبدأ السيفون الحراري يدور الفريون بين الألواح ١ و ٢ ناقلاً الحرارة من الصندوق إلى الجليد الجاف .

دوران الفريون ينظم آليا بوساطة صمامات كهرطيسية ٣ .



شكل (٥ ــ ٩) مخطط تبريد بوساطة الجليد الجاف عند تنظيم درجة حرارة الهواء

١ : صومعة الجليد الجاف ٢ : ألواح التبريد في الصندوق .

٣ : صمام كهرطيسي .

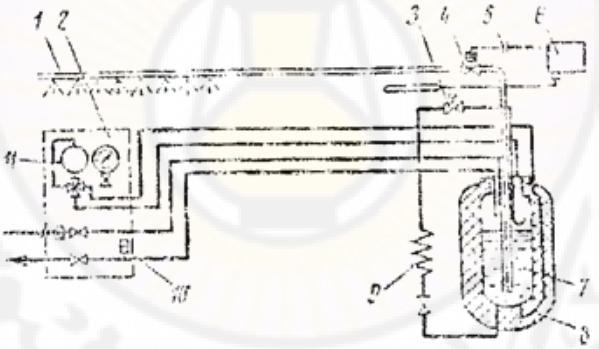
٤ ــ <u>التبريد بواسطة الغازات المميعة</u> : لاقت هذه الطريقة في الآونة الأخيرة انتشارا أكثر نظرا لبساطتها . مخطط المجدلة موضح على الشكل (٥ ــ ٩) .

الوعاء الحاوي على الازوت السائل يتوضع داخل الصندوق . بوساطة المبخر ٩ والمنظم ٣ يحافظ على ثبات الضغط في الوعاء أعلى من الضغط الجوي بمعدل (١٠٠ kPa ÷ ٥٠) . يوضع مجمع التزييد ١ في الوسط تحت سقف الصندوق وعلى كامل الطول ، إذ يدخل إليه الازوت عبر الصمام ٤ الموجه بوساطة زيليه درجة الحرارة ٦ .

في خارج الصندوق لتوضع اللاحة ٢ والتي تتوضع عليها أجهزة المراقبة والتحكم وأيضاً فوهات التوصيل لتعبأة الوعاء بالأزوت . هذا النظام يسمح بالحفاظ على درجة حرارة الهواء في الصندوق في حدود واسعة جداً لأن درجة حرارة تبخر الأزوت عند الضغط الجوي تشكل $-196\,C^{\circ}$.

عند خروج الأزوت من المجمع والتبخر تحصل زيادة ملموسة في حجمه وهذا يؤدي إلى تحريك مكثف للهواء في الصندوق . بنتيجة ذلك تكون الفروقات بدرجة الحرارة في حجم الصندوق غير ملحوظة وانحراف درجة حرارة الهواء لا يتجاوز (١) .

يوضع على احدى جدران الصندوق (الخلفي عادة) صمام عالم مغناطيسي يفتح عند ارتفاع ضغط الهواء في الصندوق إلى قيمة غير كبيرة .



الشكل (٥ ـ ٩) : مخطط محطة التبريد بالأزوت

١ : مجمع تزليق ٢ : لوحة مراقبة وتحكم ٣ : مقياس ضغط

٤ : صمام كهرطيسي ٥ : مفتاح فصل (على الباب)

٦ : زيلبه درجة الحرارة ٧ : أزوت سائل

٨ : وعاء مع عازل مصدوق مفرغ ٩ : سبخر

١٠ : صمام حماية ١١ : مقياس سوية .

بقدر عمل النظام يتم إغناء الهواء في الصندوق بالأزوت والذي يحصل محتواه إلى (٩٦ ÷ ٩٨ %)

دلت التجارب على ان مثل هذا الجو يؤثر بشكل مفيد جداً في الحفاظ على نوعية اللحوم ومنتجاتها وأيضاً المنتجات ذات المنشأ النباتي .

مقارنة نتائج التجارب المجراة على مثل اللحوم المبردة بوساطة المبردات المبرد ذات التبريد الأزوتي أو الضاغطي تشير إلى أن الجفاف في الحالة الأولى اقل بثلاثة مرات منه للحالة الثانية .

من المحاسن الأساسية لنظام التبريد الأزوتي :

١ ــ بساطة التصميم والاستثمار .

٢ ــ إمكانية انخفاض درجة حرارة الهواء في الصندوق بسرعة وتأمين الحفاظ عليها ضمن مجال واسع وانحراف غير ملحوظ .

٣ ــ عدم وجود غازات عادم .

٤ ــ غياب الضجيج ، والموثوقية بالعمل .

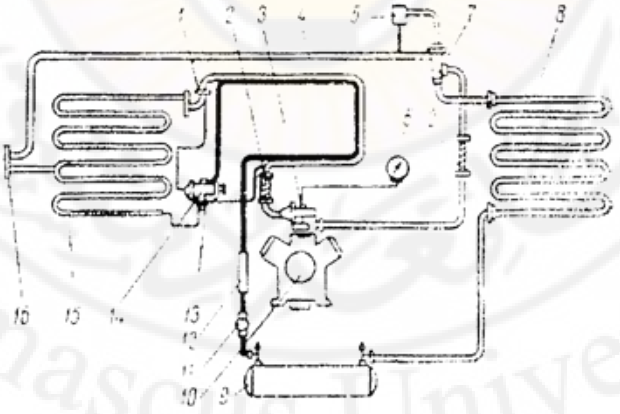
٥ ــ التأثير المفيد للجو ذو المحتوى المرتفع الأزوت في الحفاظ على نوعية المنتجات الغذائية وتقليل معدل الجفاف .

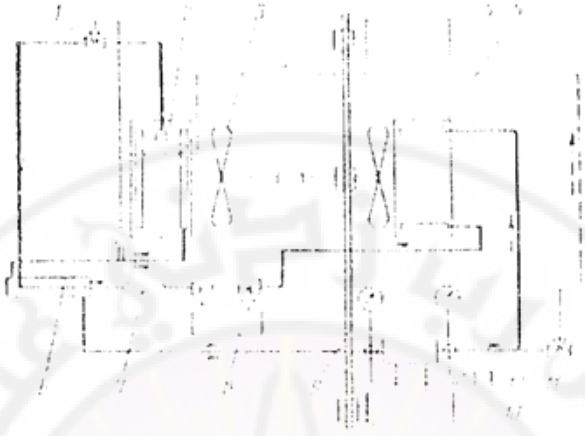
من مساوئ هذا النظام الحاجة لإنشاء محطات تعبئة بالأزوت على الطرق التي تسلكها السيارة المبرد . الإنتاجية التبريدية الكلية للأزوت السائل تشكل 378 KJ/Kg عند تبخره في الصندوق بدرجة حرارة وسطية (t_i = - 10) .

٤ ــ ١ ــ ٩ ــ مجموعات محطات التبريد الضاغطية :

في الوقت الحاضر تنتج محطات التبريد بشكل مجموعات متكاملة تشمل المبخر (مبرد هواء) ، المكثف ، الضاغط والآلة التي تقوده وهي عادة محرك احتراق داخلي .

يتوضع المكثف مع الضاغط والآلة الدافعة خارج الصندوق . أما مبرد الهواء يوضع في كوة معدة خصيصاً في أحد جدران الصندوق (عادة في الطرف الأمامي) .


1
2
3
4
5
7
8
10
15
14
13
12
11
9





٥ ـ ١ ـ ٩ ـ شروط حفظ المنتجات الغذائية السريعة التلف عند النقل بالسيارات



Damascus University

المنتج	مدة النقل (يوم)	
	من (١) يوم إلى (٣) أيام	من (٤) أيام إلى (٦) أيام
المشمش	٣ ÷ ٠	٧ ÷ ٠
الأناناس	١٢ ÷ ١٠	١٠ ÷ ٨
البرتقال	١٠ ÷ ٤	١٠ ÷ ٩
الكريفون و الليمون	١٥ ÷ ٨	١٥ ÷ ٨
الموز	١٤ ÷ ١٢	١٤ ÷ ١٢
العنب (٢)	٨ ÷ ٠	٦ ÷ ٠
الكرز (٢)	٤ ÷ ٠	لا ينصح
اباز لاء (قرون)	٥ ÷ ٠	لا ينصح
الفطور (١)	٢ ÷ ٠	—
البطيخ الأصفر	١٠ ÷ ٤	١٠ ÷ ٤
الأجاص	٥ ÷ ٠	٣ ÷ ٠
المشمش	١٠ ÷ ٠	٦ ÷ ٠
الزهرة (القرنبيط)	٨ ÷ ٠	٤ ÷ ٠
البطاطا	٢٠ ÷ ٥	٢٠ ÷ ٥
الفريز	٢ ÷ ١	لا ينصح
الكرنب	٢٠ ÷ ٠	٢٠ ÷ ٠
البصل	٢٠ ÷ ١	١٣ ÷ ١
المندرين (٢)	٨ ÷ ٤	٨ ÷ ٤
الجزر	٨ ÷ ٠	٥ ÷ ٠
الخيار	١٥ ÷ ١٠	١٣ ÷ ١٠

تابع الجدول (٥ – ٤)

البيض (١)	١٥ ÷ ٠	١٥ ÷ ٠
السمك (٢) مع الجليد	١ ÷ ٠	٢ ÷ ٠
السمك المدخن	١٠ ≤	٦ ≤
القريدس	٤ ÷ ٢	لا ينصح بتخزينه مدة تزيد عن ٢٤ ساعة
حليب طبيعي أو معقم (٣)	٤ ÷ ٠	لا ينصح
حليب اصطناعي	١ ÷ ٠	لا ينصح
المثلجات والقريدس والتين	٠ ÷ ٠	لا ينصح
الزبدة	٢ ≤	٦ ≤
الجبنة القاسية	١٥ ÷ ٠	١٥ ÷ ٠
الجبنة المسحونة	١٥ ÷ ٠	١٥ ÷ ٠
الجبنة الآنية غير الناضجة	١٢ ÷ ٨	١٢ ÷ ٨
الجبنة الآنية الناضجة	٤ ÷ ٠	لا ينصح

(١) يجب الحماية من تكاثف الندى على سطوح المنتجات .

(٢) النقل مدة (٤ ــ ٦) أيام ممكن إذا كان السمك طازج عند الشحن .

(٣) عدم نقل الحليب الطازج مدة تزيد عن (١٠) ساعة.

نقل المنتجات المبردة ينصح باستخدام السيارات المبردة الميكانيكي وذات الأصناف A ، B ، C ، D وكذلك سيارات التبريد الايزوترمية من الصنف A إذا كانت درجة الحرارة الخارجية أكبر من درجة حرارة المنتج ، أما إذا كانت درجة الحرارة الخارجية أخفض من درجة حرارة المنتج فينصح باستخدام السيارات الايزوترمية المدفأة ذات الصنف B ، A .

النسيج	درجة الحرارة (°)
	0
	18
	13
	1
	0
	10
	0

درجة حرارة 18 °C – يجب ألا تزيد عن 2 °C للمنتجات المجمدة المنقولة عند 20 °C .

أهم الشروط اللازمة للحفاظ على نوعية المنتجات عند النقل هي :

١ ــ توافر وسائل النقل بتجهيزات تبريدية ذات استطاعة كافية .

٢ ــ تأمين دوران الهواء داخل الصندوق بشكل كاف للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة بتدرج غير ملحوظ لدرجة الحرارة في كامل الحجوم .

٣ ــ تنظيم كمية تيار الهواء الخارجي الداخل الى الصندوق واللازم لتنفس المنتجات النباتية الطازجة قدر الإمكان لتجنب ازدياد الحموضة الحرارية .

٤ ــ شحن وسائط النقل بمنتجات ذات نوعية جيدة (منظفة أولياً وبحالة بيولوجية وبيوكيميائية جيدة) ومبردة مبدئيا حتى درجات حرارة ذات قيم كما هو في الجداول (٢ ــ ٩) ، (٣ ــ ٩) و (٤ ــ ٩) .

٥ ــ شحن وتفريغ المنتجات بشكل رزم مجهزة مسبقاً بواسطة ميكانيزمات شحن وتفريغ . وذلك بأقل وقت ممكن ، وباستخدام أرصفة شحن مغطاة وإنفاق ووسائط أخرى للحماية من تأثير الظروف الخارجية (درجة الحرارة العالية ، الرطوبة ، الترسبات ، والأشعة الشمسية وغيرها) .

٦ ــ تصنيف الرزم داخل الصندوق بشكل يضمن التبادل الحراري اللازم بين الهواء والمنتج وتجنب التلامس المباشر بين المنتجات من جهة وجدران أو سقف الصندوق من جهة أخرى .

٧ ــ التصنيف المتراص للرزم يسمح بالاستخدام الأعظمي لحجم الشاحنة ويحفظ المنتجات بشكل أفضل حتى عند الأعطال غير المتوقعة لعمل تجهيزات التبريد إذا كانت المنتجات مبردة حتى الدرجة المحددة .

ينصح بهذه الطريقة من التصنيف عند نقل المنتجات المجمدة والعميقة التجميد وكذلك عند النقل قصير الأمد للمنتجات الطازجة (المبردة) .

٨ ـــ التصفيف الآلي تزاد ما ينصح به عند النقل الطويل الأمد للمنتجات وخاصة منيا التي تبعث حرارة (الفواكه والخضار) ، وايضا عندما تكون المنتجات غير مبردة مبدئيا حتى ترتفع درجة حرارتها تلقائيا في الشاحنة .

٢ ـــ ٩ ـــ النقل الأتوماتيكي على الخطوط الحديدية :

تم وضع نظام النقل الأتوماتيكي على الخطوط الحديدية في العربات المبردة ، وتصنع من هياكل معدنية مع تصفيح معدني من الخارج والداخل ويتوضع بينهما العازل الحراري .

مقاييس هذه العربات هي طول (9 ÷ 10 m) وعرض (2,4 ÷ 2,5 m) ، الحجم الصافي للصندوق (90 ÷ 100 m^3) ، الحمولة (حسب نوع السلعة) تتراوح من ٢٠ طن وحتى ٤٧ طن .

معامل الانتقال الحراري لجدران الصندوق (0,28 ÷ 0,33 w/m k) .

في العربات الكبيرة يستخدم البيتون كعازل حراري .

حسب طريقة التبريد تقسم العربات المبردة إلى عربات دون آلات تبريد وعربات مع آلات التبريد :

١ ـــ عربات دون آلات تبريد : تستخدم هذه العربات لأجل الثلج الجاف أو الجليد الجاف وخليط الجليد والملح وسائل ثاني أكسيد الكربون . يوضع الجليد في جيوب جدارية أو جيوب سقفية . تحتاج العربات المبردة بالجليد ليس فقط لشحنها اوليا بكميات كبيرة من الجليد بل وأيضا لتعبئتها بشكل متواتر وبالتالي تتطلب على الخط وجود شبكة نقاط للتزويد بالجليد . يشحن في جيوب العربات رباعية المحاور (6,5 ÷ 3,5) طن من خليط الجليد والملح ، وبذلك يجب إضافة الجليد والملح خلال يوم أو يومين من الطريق . تتوضع نقاط التزويد بالجليد بعيدة عن بعضها بمسافات (400 - 500 Km) .

وعد التبريد بالجليد وخليط الجليد والملح من أقدم طرق التبريد وأصبح استخدامها في الوقت الحاضر قليل جدا .

من مساوئ التبريد بخليط الجليد والملح .

أ ـ عدم التوصل إلى درجة حرارة منخفضة بشكل كاف في داخل العربة .

ب ـ النقصان في الحجم الصافي للعربة بسبب وجود الجيوب الجليدية .

ج ـ النقصان في الحمولة المفيدة للعربة بسبب شحن كميات كبيرة من خليط الجليد والملح .

د ـ ضرورة تنظيف شبكة نقل المياه الجليد .

هـ ـ زيادة الجهد والعمل اللازمين لشحن الجليد والملح .

و ـ سيلان المحلول الملحي من الجيوب يؤدي إلى صدأ عناصر العربة وتلفها .

عند نقل المنتجات المجمدة يتم تبريد العربات باستخدام الجليد الجاف والأزوت السائل .

من محاسن مواد التبريد هذه :

أ ـ إمكانية الحصول على درجة حرارة منخفضة بشكل كاف .

ب ـ إنتاجية تبريدية كبيرة جداً .

ج ـ عدم وجود سيلان للسوائل .

الجليد الجاف يمكن أن يوضع في أوعية شاقولية بحجم حتى $1,5\ m^3$.

٢ ـ عربات تبريدية ذات آلات تبريد : من أنظمة التبريد الأكثر انتشاراً في النقل بالسكك الحديدية انتشاراً .

من مساوئ التبريد بالآلات ارتفاع كلفة التجهيزات نسبياً واستهلاك الطاقة او الحرارة من أجل قيادة المضاغط .

النقل التبريدي على الخطوط الحديدية باستخدام الآلات تجري في روسيا بتألف من قطارات ذات ٢٣ أو ٢١ عربة ، أو من أجزاء قطار مؤلفة من ١٥ أو ١٢ عربة تنتمي إلى عناصر المجموعة ، وكذلك من عربات برادات فردية أو مستقلة . تجهز العربات المبردة بنوع من وسائط النقل مشروحة في الجدول (د ـ ٩) .

تزود محطات التبريد وكذلك المخازن الكهربائية المتحركة من أجل تغذية العربات عند نقل المنتجات المبردة شتاءً بالطاقة الكهربائية من محطة ديزل كهربائية موجودة في القطار تغذي جميع اجزاء المجموعة .

تملك العربات المستقلة مولدا خاصا يعمل على الديزل وبذلك يمكن جرها بأي قطار وتسليمها بشكل مستقل إلى المنشآت التبريدية .

في القطار ذي (٢٣) عربة يكون منها (٢٠) عربة بارد وثلاث عربات مساعدة ، في إحدى العربات المساعدة تتوضع محطة الديزل الكهربائية ، والثانية تستخدم كقسم للآلات ، أما الثالثة فهي مخصصة لعامل الخدمة. ينقل وسيط التبريد الثانوي (محلول كلورات الكالسيوم) بوساطة الأنابيب من قسم الآلات إلى العربات .

الجدول (٥ ـ ٩) : خصائص النقل التبريدي على الخطوط الحديدية في روسيا :

الخصائص	العدد الكلي للعربات				العربة المستقلة
	تكوين المجموعات				
	٢٣	٢١	١٢	٥	١
الطول العام (m)	٣٧٠	٣١٠	٢١٥	١١٠	٧٢
عدد عربات التبريد	٢٠	١٨	١٠	٤	١
حمولة العربة (طن)	٣٠	٤٢	٤١	٤٢	٤٠
الحمولة الكلية (طن)	٦٠٠	٧٦٥	٤١٠	١٦٨	٤٠
درجة الحرارة في العربة	١٥ ـ ٢٠	١٨ ـ ٢٠	١٨ ـ ٢٠	١٨ ـ ٢٠	٢٠ ـ
عدد مراحل آلة التبريد	١	٢	٢	١	٢
عدد عمال الخدمة	٦	٥	٥	٣	—
الطول الخارجي للصندوق (m)	١٥	١٧	١٧	٢١	٢١
عرض الصندوق (m)	٣	٣,١	٣,٠	٣,١	٣,١

توصل أنابيب المحلول بين العربات بوصلات ، مطاطية مرنة ، من أجل الاختصار بأطوال الأنابيب ، من أجل الخدمة الرئيسة لتضع العربات الثلاثة المساعدة في وسط القطار ، وفي إحدى جهاتها توجد عشرة عربات أما العشرة الأخرى فتقع في الجهة الثانية .

على سقف العربات المبردة تعلق أسيزة تزويد من أنابيب مرنة موصلة على التفرع مع انابيب المحلول ومن اجل تقوية دوران الهواء في العربة توضع مراوح دافعة لهذا الغرض .

بسبب الطول الكبير للقطار فلا يمكن استغلال القطار بكامله دفعة واحدة إلا في المنشآت الضخمة جدا ، ولذلك في أغلب الحالات يتطلب الأمر فصل العربات ، وتسليمها إلى الرصيف على دفعات . في العربات المفصولة يتوقف التبريد وإضافة إلى ذلك يمكن أن يحصل فقد غير كبير للمحلول .

أجزاء القطارات ذات الثنتي عشرة عربة تكون عشر عربات معملة وعربتان مساعدتين ، في احدى العربتين محطة ديزل كهربائية وقسم العامل الخدمة ، أما في العربة الثانية قسم الآلات مع مساعد أوتوماتيكي مرحلتين .

بما أن الطلب قليل نقل المنتجات بكميات كبيرة فان انتاج القطارات المبردة ذات (٢٢) عربة و ٢١ عربة ، والأجزاء ذات ١٠ عربة نادر جدا . أضف إلى ذلك الطول الكبير لها .

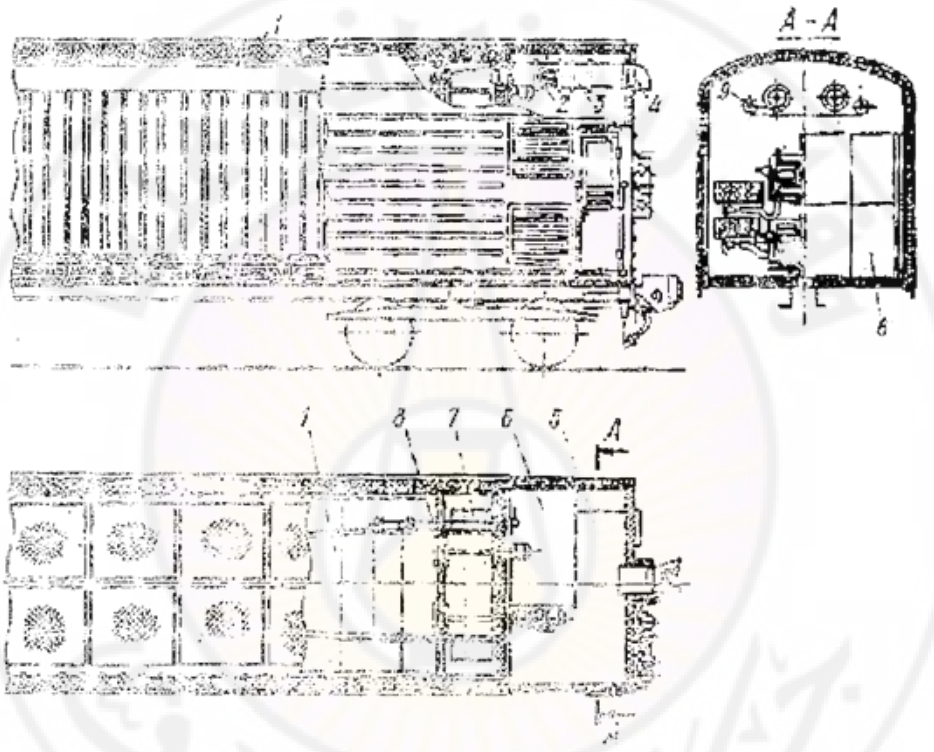
الأجزاء ذات خمسة العربات والعربات المستقلة هي الأكثر استخداما في الوقت الحاضر .

تنتج في روسيا الأجزاء ذات خمسة العربات والمكونة من أربع عربات شحن وعربة مساعدة ، توضع في الوسط . في العربة المساعدة محطة ديزل كهربائية ومكان الخدمة.

كل عربة شحن الشكل (١٠ ـ ٩) تحوي مكان شحن وقسم للآلات يركب فيه مجمر عكس (ضاغط مع مكثف) ، باستطاعة تبريدية ٥٨ (600) عند درجة حرارة غليان $t_0 = -28\ C^0$ ودرجة حرارة تكاثف $t_c = 45\ (^0)$ ، وتركب أيضا توجه كهربائية . في مكان الشحن توضع مبردات الهواء ٧ ، فوقها توضع مراوح كهربائية ، تسلم الهواء البارد إلى مكان الشحن بوساطة المروحة ٨ عبر المجرى ١ الذي يحوي فتحات في جداره السفلي . وثمة مروحة مستقلة ٢ من أجل تهوية مكان الشحن عند نقل المنتوجات المبردة . المروحة تسحب الهواء

ضمن المجرى ٣ عبر فتحة دواء ٤ . المجرى ٣ يمكن أن يوصل بالمجرى ١ عند فتح بوابة بوساطة القبضة ٩ .

لنقل كميات قابلة من السلع (حتى ٢٠ طن) بين المدن لاستخدام البرادات المزودة بالمكائن .

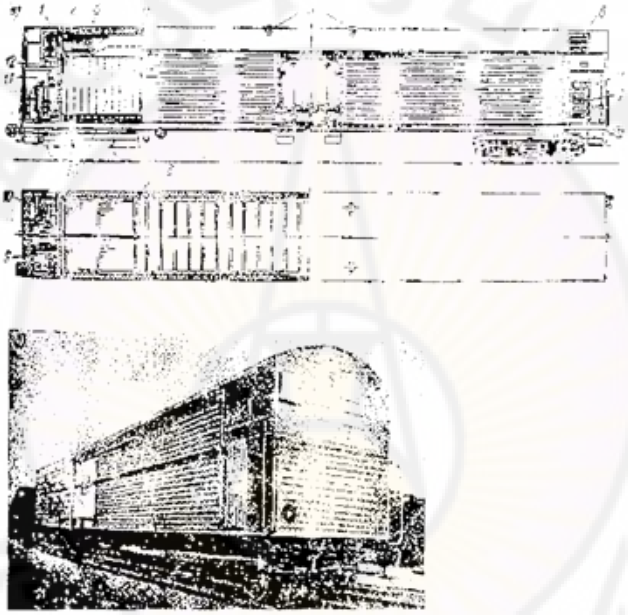


الشكل (١٠ ــ ٩) : عربة براد من الجزء ذي الخمسة عربات .

الشكل (١١ ــ ٩) يوضح عربة تبريد مستقلة . قسما الآلات ١١ يتوضعان في كلا طرفي العربة في كل مقدا مولد حالي التيار ١٠ بالسطوانة 13.0 kw بوحدة متماثل مع مكائن ١ باستطاعة تبريدية 9,3 kw عند $t_0 = -15\ C^\circ$ و $t_a = +40\ C^\circ$. بإضافة إلى ذلك يركب في قسم الآلات خزان وقود ٩ ولوحة توزيع ١٢ . يبرد الهواء في المبرد ٣ ويدفع بالمروحة ٢ إلى التجويف ٤ من السقف المستمار ذي القنوات . توضع المنتجات في قسم الشحن ١٣ على شبك أرضي ٨ . من أجل تبريد المكائن ينقل الهواء عبر فتحات الشبك ٨ . وتشرب بفتحة

الديزل يدخل الهواء عبر فتحات الشبك ٧ ، لطرد الهواء من مكان الشحن عند التهوية يركب دوفليكتور ٥ .

يركب مجموعة الديزل وكذلك محطة التبريد على إطارين مستقلين متحركين من أجل سهولة الوصول عند الإصلاح أو التبديل .



الشكل (٢٠٠ - ٤) : عربة برادة مكيفة

a : مقطع b : الشكل الخارجي .

محطات التبريد تعمل بشكل دوري وتحافظ على درجة الحرارة المطلوبة في مكان الشحن . محرك الديزل يعمل عادة بشكل مستمر . إذابة الجليد عن سطح مبرد الهواء تتم بشكل آلي . عند انخفاض ضغط الغاز بسبب نمو الفروة الثلجية فإن حساس الضغط يفتح الصمام

الايزوثرمي ، لكن عيبه الكبير هو انه يتأثر من جهة بتأثير التقاطع ، لهذا تستعمل الكريستالات
الخالصة .

١ ـ ٢ ـ ٩ ـ مواد العزل الحراري المستخدمة في التجربة الايزوثرمية:

تستخدم في هذه التجربة مادتا العزل الحراري التاليتان :

١ ـ كتلة معدنية .

٢ ـ معزل حراري مختلف .

٣ ـ مسخنة كهربائية .

٤ ـ ثلج مجروش (مقاومة الكتلة للتأثير الكهربائي) .

٥ ـ مخلفات مقررة للمصدقين لمادة (مصدقين زجاجيين) .

يمكن لهذه المواد العزل الحراري لتشكيل جميع المنظمات بسهولة بشكل كامل .

تستخدم الكتلة (الألمنيوم) معزل حراري ممتاز (٢٠٠ w/mk) ، لكنها لا تحتاج فقط لتكلفة المصدقين الزجاجيين لهذه الكتلة ، لكن تتمتع بمزايا أخرى مثل سهولة تشكيلها بشكل جيد ، لكن لها عيب خطير آخر وهو قدرتها على تركيب على حرارة التجربة الايزوثرمية ، لهذا يجب تغيير هذه المعدن لأنها تحتاج إلى تركيب محدد لها ، بشكل لا تستطيع هذه المعادن العزل الحراري في تجربة الايزوثرمية بكفاءة .

معظم المصدقين الحراري الشفافين هي مقاومة للتأثير مع تغيير (٠,٠٠٤٥ : ٠,٠٠٨٥ w/mk) كما يمكن من تغيير (كثافة ٥٠ / ٥٠ kg/m) ، لكن تتمتع هذه المنتجات بمقاومة قليلة ، مع تأثيرها في وقت تحضير العزل الكثير مستخدمة العزل الحراري .

٢ ـ ٢ ـ ٩ ـ الحسابات الحرارية للتجربة الايزوثرمية

١ ــ **التدفق الحراري عبر جدران وفواصل غرفة الشحن** في العربة مقدراً بالواط يعطى بالعلاقة التالية :

$$Q_w = \sum_{i=1}^{n} K_i.F_i(t_e - t_i) + K_M.F_M(t_M - t_i)$$

إذ : K_i ــ معامل الانتقال الحراري لعناصر الجدران (w/m^2k) .

F_i ــ مساحة سطح العنصر الموافق (m^2) .

T_e ــ درجة حرارة الهواء المحيط ($^\circ C$) .

t_i ــ درجة حرارة الهواء في مكان الشحن بالعربة ($^\circ C$).

K_M ــ معامل الانتقال الحراري الكلي للفواصل والتي تفصل قسم الآلات في العربة عن قسم الشحن (w/m^2k) .

F_M ــ مساحة الفواصل (m^2) .

t_M ــ درجة حرارة الهواء في قسم الآلات ($^\circ C$) .

تشكل مساحة الفواصل جزءاً صغيراً من المساحة العامة للجدران ولذلك تستخدم في الحسابات العملية الصيغة التالية :

$$Q_w = K.F(t_e - t_i)$$

إذ : K ــ معامل الانتقال الحراري الكلي الوسطي (w/m^2k) .

F ــ المساحة الوسطية لسطوح جدران العربة الأيزوترمية (m^2) .

$$F = \sqrt{F_e.F_i}$$

F_e ــ مساحة السطح الخارجي للجدران .

F_i ــ مساحة السطح الداخلي للجدران .

معامل الانتقال الحراري الكلي الوسطي للجدران يحدد بالعلاقة :

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i.F_i}{F}$$

معامل الانتقال الحراري الكلي في المنطقة التي يكون تركيبها متشابها يمكن أن يعطى بالعلاقة:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

إذ α_e ـ معامل الانتقال الحراري من الجهة الخارجية للعربة ، تتعلق قيمته بسرعة حركة الهواء بالنسبة للعربة :

$$\alpha_e = 4.9 + 15.1\sqrt{w}$$

w ـ سرعة الحركة (m/s) .

α_i ـ معامل الانتقال الحراري من الجهة الداخلية للعربة ، ويؤخذ بمعدل (7 ÷ 9.3 w/m^2k) عند الحمل الطبيعي لأجهزة التبريد و (17,5 ÷ 23,2 w/m^2k) عند الحركة القسرية للهواء في العربة .

في التصاميم الحديثة للعربات الايزوترمية تكون قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي بحدود (0,25 ÷ 0,3 w/m^2k) .

عند حساب الإنتاجية اللازمة لتجهيزات التبريد والتدفئة للعربات الايزوترمية يؤخذ بالحسبان امكان ازدياد القيم السابقة الذكر في إجراء الاستثمار (نتيجة تقادم وترطيب العزل) :

يؤخذ $k = 0,42\ w/m^2k$. يمكن أن تؤخذ القيمة أقل من ذلك إذا كانت نوعية صناعة المادة العازلة وتصميم جدران العربة الايزوترمية تؤمن استقرارا عاليا لمعامل الانتقال الحراري .

٢ ـ **الأحمال الحرارية الناتجة عن تسرب الهواء** بسبب عدم الإحكام التام للعربة . الهواء المبرد يتسرب من العربة ويدخل بدلاً منه هواء خارجي دافئ .

في الحسابات الحرارية للعربات تؤخذ القيمة المعبرة عن تبديل الهواء نتيجة عدم الإحكام التام بمعدل 0,3 من الحجم الكلي لغرفة الشحن في الساعة . وبالتالي فالأحمال الحرارية الناتجة عن تسرب الهواء .

$$Q = 0.083 \times \rho \times (i_1 - i_2) \quad . \quad (W)$$

حيث : 0,083 ـ معامل يراعى تبديل الجهة و التحويل من Kj/h الى W .

V ـ الحجم الكلي لغرفة الشحن (m^3) .

ρ ـ الكثافة النوعية للهواء الخارجي (kg/m^3) .

i_1 ـ المحتوى الحراري للهواء في غرفة الشحن (kJ/kg) .

٣ ـ ان بعض انواع المنتج سريعة العطب (مثل الخضار) تحتاج عند النقل لتهوية غرفة الشحن ، من اجل حفظ نوعية المنتج لمدة طويلة يكفي تمرير الهواء بمعدل عشرة اضعاف حجم غرفة الشحن في الساعة .

الاحمال الحرارية الناتجة عن تهوية غرفة الشحن .

$$Q = 0.116 \times V \times \rho \times (i_1 - i_2) \quad . \quad (W)$$

حيث : 0,116 معامل يراعى عند مرات دوران الهواء و التحويل من KJ/h الى W .

٤ ـ تاثير الاشعة الشمسية على الاحمال الحرارية في غرفة الشحن للعربة الايزوترمية . ان هذه الاشعة تؤدي الى ارتفاع درجة حرارة الهواء الخارجي بمقدار Δt ، التي تحسب لكل من عناصر الجدار بالصيغة :

$$\Delta t = \frac{I \cdot \beta}{\alpha_1} \quad (^\circ C)$$

حيث : I ـ الشدة الكلية الوسطية للاشعة الشمسية على سطح العنصر الجداري (W/m^2) .

β ـ معامل امتصاص الاشعاع الشمسي من قبل مادة العنصر الجداري .

α_1 ـ معامل النقل الحراري لسطح الجدار الخارجي ($W/m^2 K$) .

الاحمال الحرارية الناتجة عن تاثير الاشعة الشمسية :

$$Q = \sum K \cdot F \cdot \Delta t \quad . \quad (W)$$

الشدة الكلية الوسطية للاشعة الشمسية تتعلق بخطوط العرض الجغرافية و اتجاه السطوح وظروف الطقس .

٥ ـ هناك جزء كبير من الأحمال الحرارية يمكن أن يتشكل من السطح في العربة .

عند نقل الثمار والخضار يستخدم بشكل واسع تبريدها على الطريق الذي تسلكه العربة الايزوترمية . الحرارة المخزنة في المنتجات والحاويات التي تتبعث عند التبريد يعطى بالعلاقة :

$$Q_{a.p} = \frac{(G_1.C_p + G_2.C_2)(t_1 - t_2)}{3.6\tau}$$

إذ : $Q_{a.p}$ ـ الحرارة المخزنة في المنتجات والحاويات (W) .

G_p و G_1 ـ الكتلة الموافقة للمنتجات والحاويات على التوالي (kg) (في الحسابات الحرارية للعربات الايزوترمية تؤخذ الكتلة النوعية للمنتجات $280\ kg/m^3$ وكتلة الحاويات تؤخذ بمقدار 15 % من الكتلة الكلية للسطح) .

C_2 و C_p ـ الحرارة النوعية للمنتجات والحاويات KJ/kg.°k (الحرارة النوعية الحسابية للثمار والخضار $C_p = 3,55\ KJ/kg°k$ وللحاويات $C_2 = 2,7\ KJ/kg\ k$) .

t_1 ـ درجة الحرارة الأولية للمنتج عند الشحن (C°) .

t_2 ـ درجة الحرارة المطلوبة للنقل (C°) .

τ ـ الفترة الحسابية للتبريد (لا تزيد عن 60 h) .

٦ ـ عند نقل الخضار والثمار لا يتوقف إجراء التنفس والذي يترافق بانبعاث الحرارة .

كمية الحرارة التي يولدها طن واحد من الخضار عند التنفس يؤخذ

$q_p = 97\ w$.

كمية الحرارة الناتجة عن تنفس المنتجات :

$$Q_r = 10^{-3} q_p . G_p$$

عند حساب الإنتاجية اللازمة لتجهيزات التبريد والتدفأة تؤخذ بالحسبان الحرارة الناتجة عن المراوح التي تقوم بتدوير الهواء في العربة . إذا كانت المحركات الكهربائية القائدة للمراوح

تتوضع في غرفة شحن العربة فإن كل استطاعتيها (N_{el}) تتحول إلى حرارة تضاف إلى الأحمال الحرارية على التجهيزات التبريدية .

عند نقل المنتجات مع تدفأة في الفترة الشتوية من السنة فإن الحرارة الناتجة عن محركات المراوح تعوض جزء من الفقد الحراري .

اثناء عمل آلة تبريد العربة الايزوترمية يتشكل على سطح المبخر فروة ثلجية . عند إذابة الجليد عن سطح المبخر فمن المحتم تسرب كمية محدودة من الحرارة إلى غرفة الشحن (Q_{II}) هذه القيمة تتعلق بطريقة الإذابة وبتصميم العربة ومبخر آلة التبريد . مجموع الأحمال الحرارية في غرفة شحن العربة الايزوترمية مع دوران قسري للهواء تشكل :

أ ــ عند نقل السلع المجمدة :

$$Q = Q_{tr} + Q_d + Q_s + N_f + Q_{II}$$

ب ــ عند نقل الثمار والفواكه مع التبريد

$$Q = Q_{tr} + Q_r + Q_d + Q_s + Q_{resp} + Q_p + N_f + Q_{II}$$

محصلة الفقد الحراري لغرفة الشحن في فترة الشتاء

$$Q = Q_{tr} + Q_d + Q_v - N_f$$

في حال غياب نظام الدوران القسري للهواء من العربة الايزوترمية فإن :

$$N_f = 0$$

عند حساب انتاجية تجهيزات التبريد والتدفأة . يؤخذ بالحسبان عامل التشغيل الزمني المحدد . مدة عمل أجهزة التبريد والتدفأة يجب ألا تزيد عن 22 h في اليوم .

٣ ــ ٢ ــ ٩ ــ التبريد الضاغطي للعربات المبردة :

مخطط تبريد غرفة الشحن في العربة المبردة تتعلق بنوع القطار المبرد . من أجل القطارات المبردة (٢١ و ٢٣ عربة) والأجزاء المبردة الكبيرة (١٢ عربة) يكون من الأفضل استخدام مخطط تبريد المركزي . في حين العربات تتوضع محطة التبريد التي تبرد

وسيط التبريد الثانوي (المحلول) الذي يدخل الى أجهزة تبريد عربات الشحن (القطار أو الجزء

بالنسبة للأجزاء المبردة ذات الخمسة عربات وكذلك العربات المبردة المستقلة تزود كل عربة شحن بآلة تبريد مع تبريد مباشر .

تستخدم في آلات التبريد الضاغطية العائدة للقطارات المبردة نوعين من وسائط التبريد :

أ ــ الفريون يستخدم في العربات ذات التزويد التبريدي المستقل وذات نظام التبريد المباشر .

ب ــ الامونيا ، تستخدم بالقطارات والاجزاء ذات التزويد التبريدي المركزي إذ يستخدم وسيط التبريد الثانوي .

تقسم آلات التبريد بحسب المخطط الرمزي إلى آلات تبريد بمرحلة واحدة وبمرحلتين .

يوضح الشكل (١٢ ــ ٩) المخطط الرمزي لآلة تبريد بمرحلتين نموذج 315.004 التي تجهز بها الأجزاء ذات خمسة العربات تبريدية أو العربات المبردة المستقلة وهي المماثلة الصنع .

إذابة الفروة الثلجية يمكن أن تتم بإحدى طريقتين :

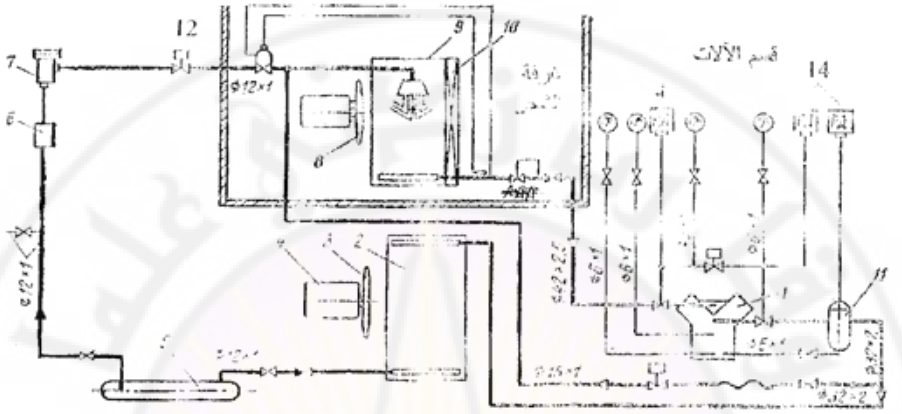
أ ــ باستخدام مسخن كهربائي .

ب ــ باستخدام حرارة بخار وسيط التبريد الساخن .

عند الإذابة بالطريقة الثانية يتوقف دخول سائل وسيط التبريد إلى مبرد الهواء ، ويدفع إليه البخار الساخن لوسيط التبريد (يغلق الصمام الكهرطيسي للسائل ويفتح الصمام الكهرطيسي المركب على أنبوب خاص ، الذي يصل مبرد الهواء بأنبوب دفع الضاغط) . الإذابة تتم على حساب الحرارة المكتسبة لعمل الانضغاط بالضاغط عند ذلك يبرد وسيط التبريد دون تغير حالة المجموعة .

تحويل آلة التبريد إلى عكس الدورة يساعد على رفع فعالية عملية الإذابة والحصول السريع اللازم لذلك . ولكن هذه الطريقة من الإذابة تستخدم بشكل نادر في آلات تبريد العربات

المبردة . كما انها تتطلب زيادة في حجم محطة آلة التبريد و ادخال مجموعة من الأدوات و التجهيزات الخاصة .



الشكل (١٢ ــ ٩) : المخطط الفرضي لآلة التبريد نموذج 31K.004

١ : ضاغط ٢ : مكثف ٣ : مروحة المكثف .

٤ : محرك كهربي ٥ : خزان ٦ : مصفاة ـ مجفف

٧ : مصفاة ٨ : مروحة مبرد الهواء ٩ : مبرد الهواء

١٠ : صمام كهربائي ١١ : فاصل زيت

١٢ : صمام كهرطيسي ١٣ : صمام تنظيم ترموستاتي

١٤ : منظم ضغط .

يعتمد أمر البدء بالإذابة اما بواسطة ريليه زمنية واما بواسطة ريليه ضغط تحسس ديناميكية ضغط غليان وسيط التبريد . لحظة بدء الإذابة يمكن أن تحدد بحسب تغير المقاومة الايروديناميكية لمبرد الهواء بفعل تراكم الجليد . إلا أن هذه الطريقة تستخدم بشكل نادر نظرا لصعوبة صنع الجهاز اللازم الذي يجب أن يكون ذا مقدرة على العمل عند الأحمال الديناميكية التي تظهر عند حركة الهواء المبرد . مدة عملية الإذابة يمكن أن تحدد بواسطة ريليه زمنية ولكن غالبا تنتهي الإذابة وتحول آلة التبريد إلى نظام التبريد بأمر من ريليه ترموستاتية تتحسس درجة حرارة بخار وسيط التبريد عند الخروج من مبرد الهواء .

الفصل العاشر

استثمار محطات التبريد

١ ـ ١٠ ـ مفاهيم أساسية :

تحسب محطة التبريد على النظام المطلوب عند أحمال حرارية خارجية وداخلية أعظمية وعند هذه الشروط يتم اختيار جميع عناصر المحطة .

الشروط الفعلية يمكن أن تختلف عن الحسابية . يمكن أن تعمل المحطة عند شروط أكثر ملائمة ومريحة (في الفترة الباردة من السنة عندما يكون مرود السلع قليلا) . وعند شروط أكثر صعوبة من الشروط التصميمية عند انخفاض نوعية العزل . انخفاض التبادل الحراري لأجهزة التبريد (تشكل فروة ثلجية . تراكم تراب) . سوء عمل المكثفات (تسرب سطوح التبادل الحراري) . سوء عمل الصواغط (التآكل وعدم الإحكام الجيد) . وعند تجمع الهواء في النظام وغازات أخرى غير متكاثفة .

إذا كانت الإنتاجية التبريدية للنظام لا تتناسب مع الأحمال الحرارية الفعلية فإن ذلك يؤدي إلى تغير درجة الحرارة . النقص في الإنتاجية التبريدية لا يمكن تعويضه في مجال حدود التنظيم. الزيادة في الإنتاجية التبريدية يسمح بإجراء التنظيم بمساعدة أكثر الطرق انتشارا أي بوصل الصواغط وفصلها دوريا . عند ذلك يمكن الحفاظ على درجة الحرارة المحددة في المكان المبرد بوساطة زمن عمل الدورة .

٢ ـ ١٠ ـ تجريب وتهيئة النظام :

يتم اختبار المحطة وتجريبها على المدة بالضغط مدة خمس دقائق . وعلى الإحكام لمدة /٢٤/ ساعة . الجدول (١ ـ ١٠) يبين الضغوط المطبقة للتجربة .

الجدول (١ ــ ١٠)

الأجهزة (الخزانات والأنابيب)	ضغط التجريب (زائد) Mpa			
	R 717		R 12	R 22
	على المتانة	على الإحكام	على الإحكام	على الإحكام
جهة الدفع	* 1.8 ; 2.5	* 1.5 ; 2	1.6	٢
جهة السحب	* 1.2 ; 2	* 1 ; 1.6	١	1.6

* للتجهيزات التي يكون الضغط العامل فيها 2 Mpa من جهة الدفع و 1,6 Pa من جهة السحب .

يتم التجريب بالهواء الجاف (لمحطات الأمونيا) ، وبالآزوت (لمحطات الفريون) ، وبالماء (للمحطات التي تستخدم المحلول) . أمكنة التسريب تعالج بعد إزالة الضغط .

لتنظيف النظام من الزبد والندى والرمل يكسح بالهواء . بشكل أولي تكسح الأجهزة المستقلة والبطاريات .

للكسح يشكّل ضغط هواء في النظام بمعدل (0,6 ÷ 0,8 Mpa) . أنابيب الفريون تكسح بالآزوت .

لإبعاد الهواء من النظام واختباره تحت الضغط التخلخلي ، يحكم بشكل جيد ويخلخل ، وبعد ذلك تأتي عملية التعبئة بوسيط التبريد من صهاريج أو بالونات ، عند ذلك من الضروري مراعاة معدل ملء كل عنصر من عناصر محطة التبريد .

تخضع محطة التبريد إلى تجارب التسليم ، والهدف من ذلك اختبار مقدرة العمل للتجهيزات بما يتوافق والشروط التصميمية .

٣ ــ ١٠ ــ الاستثمار :

يجب أن تؤمن محطة التبريد نظام التبريد المحدد ، وأن تعمل باقتصادية ووثوقية وأن تكون غير خطرة للأشخاص وغير مضرة للوسط المحيط . مع مرور الزمن تهترء الآلات وتنخفض فعاليتها على العمل .

سطوح أجهزة التبادل الحراري نتيجة سبب الترسبات الصلبة والزيوت والشحوم، كل هذا يؤدي إلى إعاقة التبادل الحراري. تحافظ على النظافة الدورية الكاملة من الشوائب والزيوت المتكونة بالوقت المناسب، وفي حال عدم القيام بذلك فإن فرق درجات الحرارة في الأجهزة، وهذا بدوره يؤدي إلى رفع درجة حرارة التكثيف (خفض درجة حرارة الماء الخارج) (درجة حرارة الماء الداخل بسطح التبريد). تعمل في مثل هذه الحالات على صعود الضاغط أو زيادة زمن عمله لإنتاج الكمية المطلوبة، وكلما زادت الحاجة لتبريد الأجهزة هذا يسبب في تعطيلات فنية وإقتصادية لمقر الشركة.

في هذه الحالات يجب أن نتحقق من أحد الأسباب التالية، ومعالجتها بالشكل المناسب، وتتمثل بنوعية وتشغيلية الأجهزة الخاصة، وتتمثل بعدم قيام الشركة المختصة بتنظيف الزيت من الأنظمة، وتستمر كل الأجهزة والمعدات بالعمل دون أن تتمتع بالتبريد الكافي عند تشغيل وتوقف الأجهزة.

تستمر محطة التبريد بتأمين الأجهزة بالتبريد الكافي:

تشغيل، تخدم في وقت العمل، تحرك جزء من الأجهزة المستخدمة بشكل دوري (خروج وصعود الزيت، الذي ينتج عن سطوح أجهزة التبريد، وعادة ما تكون الأجهزة بسطح التبريد الدوري)، خدمة بشكل دائم، توقف.

تتبع تعطيلات هذا التشغيل والتوقف وتحديد خدمة محطة التبريد على مخططات وبيانات الأجهزة.

٤ ـ ١٠ ـ إقلاع محطة التبريد :

يختلف إقلاع محطة التبريد الجديدة عن تشغيلها خلال الأيام الأولى لعملها وعند الساعة من التحول في خط العمل، إن الأمور التي يجب القيام بها عند إقلاع المحطة هي :

١ ـ وجود سائل في أنبوب السحب وفتحه في بداية التشغيل

٢ ــ عدم تدفق الماء في قميص التبريد .

٣ ــ عدم صلاحية نظام تزييت الضاغط الذي يتضح من خلال مؤشر ضغط الزيت .

٤ ــ عدم صلاحية نظام تبريد المكثف .

٥ ــ عدم صلاحية نظام الحماية الآلية (لا تجد استجابة لمستوى السائل المرتفع في الفاصل ولدرجة حرارة الدفع بعد الانضغاط) .

عدم الممانعة عند بداية العمل يتطلب تسهيل تشغيل المحرك الكهربائي. عدالة عناصر الضاغط والاحتكاك الملحوظ في العناصر المترابطة (الاحتكاك الأولي أكبر بعشر مرات من عند استقرار النظام الطبيعي) يشكل لحظة قرملة كبيرة على محور المحرك الكهربائي . إذا تجاوزت فترة القرملة فترة إقلاع المحرك يكون من المستحيل اقلاع الضاغط دون وسائل إضافية لاختصار فترة القرملة . أكثر الوسائل انتشارا لاختصار فترة القرملة هي الإقلاع دون حمل ، بدون انضغاط البخار في الأسطوانة . في هذه الحالة فإن الضاغط يزال فقط مقاومة المعطلة والاحتكاك في حزم الضاغط .

إن وصل حجرة الدفع لأسطوانة الضاغط بحجرة السحب عبر صمام ازالة الحمل (على التحويلة) يشكل شروط الدوران بلا حمل وذلك عند إغلاق الصمام على أنبوب الدفع .

محطات التبريد الحديثة تقلع آليا ، في فترة الإقلاع تفتح التحويلة ، بعد مرور زمن كاف للوصول إلى السرعة التشغيلية للدوران محور الضاغط تغلق التحويلة وتبدأ عملية ضغط البخار وسيط التبريد .

لتسهيل عملية الإقلاع يكون كل من صمامي الدفع والسحب مفتوحين دائما ، الشكل (١ ــ ١٠) ، ويغلقان فقط في حالة الصيانة أو التوقف الطويل . لتجنب جريان وسيط التبريد من جهة الضاغط العالي (من المكثف) إلى النظام البارد وتحقيق تشغيل بدون حمل ، صمام الدفع بالوضع المفتوح . يركب بعد كل ضاغط صمام عدم رجوع ، يجب اختبار إحكامه دورياً .

إقلاع المحركات الكهربائية للضواغط يرتبط عادة مع عمل المحركات الكهربائية لمضخة الماء . أي أن محرك الضاغط يمكن أن يقلع بعد تشغيل محرك المضخة .



عامل الخدمة في المحطات المؤتمتة ينحصر بالتجهيز الأولي للعملية من ادخال الإقلاع بعد الصيانة أو توقف الضاغط لفترة طويلة ، وذلك بافتتاح أجهزة التعبئة والعمليات اليدوية ، وكذلك انجاز عمليات أخرى مساعدة مثل إذابة الجليد عن سطوح أجهزة التبريد ، وإزالة عدم الإحكام الممكن في النظام وتعبئة النظام دوريا بوسيط التبريد .

يبين الشكل (٢ ـ ١٠) لوضع أجهزة التحكم والحماية و عناصر التحكم على ضاغط يعمل بمرحلة واحدة . ان مهمة العامل في محطات التبريد الآلية هي مراقبة عمل أجهزة الأتمتة الآلية بحيث تبقى المؤشرات التالية ضمن الحدود المسموحة :

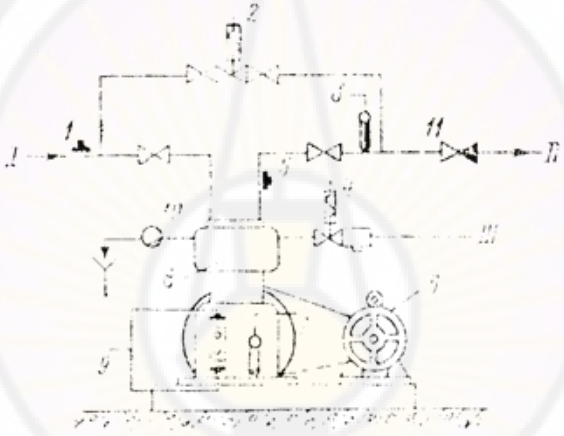
ضغط السحب ، فرق الضغط في نظام التزييت بعد المضخة وفي كارتر الضاغط ، ضغط الدفع ودرجة حرارة الدفع ، مستوى سائل وسط التبريد في الفواصل و/أو الفاصلة الثانية والخزانات الدورانية ، تغذية الماء لقميص تبريد الضاغط (الكمية غير كافية أو مقطوعة) ، تبريد المكثف.

عند توقف الضاغط عن طريق أجهزة الحماية لابد من الكشف لمعرفة أسباب التوقف وإعادة الإشارة الموافقة على لوحة المراقبة . مخطط اللوحة لا يسمح بإقلاع الضاغط دون اقلاع المضخة التي تغذي المكثف بالماء .

يتم الإقلاع الآلي بالتتابع الذاتي : في البداية يغلق الصمام الكهرضيسي المركب على خط دخولية قميص الضاغط بالماء (الشكل ٢ ـ ١٠) . علما أن في اللحظة الأولى للإقلاع يكون ضغط الماء اللازم في خط الماء غير محقق وكذلك لا يتوافر الضغط اللازم للزيت في نظام التزييت، لذا فإن الريليه الزمنية في اللوحة تصل تماسات ريليه المجرى ١٠ وريليه ضغط الزيت ٩ لمدة (15 sec : ١٠) .

ضغط زيت ضروري في نظام زيت ضغط يحصل فقط بعد أن يتصل عمل توربين مضخة زيت أو نظام تشغيل . خلال هذا الوقت يستمر عمل ضغط تشغيلي للحفاظ على ضغط النظام المطلوب في ضمن ضاغط .

خلال (١٥٧٥ : ٢٠) فإن توربين زيت أحصل تقنيات توربين ٢٠ توربين ٩ .



شكل (٢ ـ ٢٠) : رسم حركة لنظام ضغط

١ ـ ضاغط نظام ضغط ٢ ـ

٣ ـ ضاغط (مضخة) ضغط ٤ ـ ٥ ـ ٦ ـ ٧ ـ ٨ ـ ٩ ـ ١٠ ـ ١١ ـ ١٢ ـ ١٣ ـ ١٤ ـ ١٥ ـ ١٦ ـ ١٧ ـ ١٨ ـ ١٩ ـ ٢٠ ـ ٢١ ـ ٢٢ ـ ٢٣ ـ ٢٤ ـ ٢٥ ـ ٢٦ ـ ٢٧ ـ ٢٨ ـ ٢٩ ـ ٣٠ ـ ٣١ ـ ٣٢ ـ ٣٣ ـ ٣٤ ـ ٣٥ ـ ٣٦ ـ ٣٧ ـ ٣٨ ـ ٣٩ ـ ٤٠ ـ ٤١ ـ ٤٢ ـ ٤٣ ـ ٤٤ ـ ٤٥ ـ ٤٦ ـ ٤٧ ـ ٤٨ ـ ٤٩ ـ ٥٠ ـ ٥١ ـ ٥٢ ـ ٥٣ ـ ٥٤ ـ ٥٥ ـ ٥٦ ـ ٥٧ ـ ٥٨ ـ ٥٩ ـ ٦٠ ـ ٦١ ـ ٦٢ ـ ٦٣ ـ ٦٤ ـ ٦٥ ـ ٦٦ ـ ٦٧ ـ ٦٨ ـ ٦٩ ـ ٧٠ ـ ٧١ ـ ٧٢ ـ ٧٣ ـ ٧٤ ـ ٧٥ ـ ٧٦ ـ ٧٧ ـ ٧٨ ـ ٧٩ ـ ٨٠ ـ ٨١ ـ ٨٢ ـ ٨٣ ـ ٨٤ ـ ٨٥ ـ ٨٦ ـ ٨٧ ـ ٨٨ ـ ٨٩ ـ ٩٠ ـ ٩١ ـ ٩٢ ـ ٩٣ ـ ٩٤ ـ ٩٥ ـ ٩٦ ـ ٩٧ ـ ٩٨ ـ ٩٩ ـ ١٠٠ ـ ١٠١ ـ ١٠٢ ـ ١٠٣ ـ ١٠٤ ـ ١٠٥ ـ ١٠٦ ـ ١٠٧ ـ ١٠٨ ـ ١٠٩ ـ ١١٠ ـ ١١١ ـ ١١٢ ـ ١١٣ ـ ١١٤ ـ ١١٥ ـ ١١٦ ـ ١١٧ ـ ١١٨ ـ ١١٩ ـ ١٢٠ ـ ١٢١ ـ ١٢٢ ـ ١٢٣ ـ ١٢٤ ـ ١٢٥ ـ ١٢٦ ـ ١٢٧ ـ ١٢٨ ـ ١٢٩ ـ ١٣٠ ـ ١٣١ ـ ١٣٢ ـ ١٣٣ ـ ١٣٤ ـ ١٣٥ ـ ١٣٦ ـ ١٣٧ ـ ١٣٨ ـ ١٣٩ ـ ١٤٠ ـ ١٤١ ـ ١٤٢ ـ ١٤٣ ـ ١٤٤ ـ ١٤٥ ـ ١٤٦ ـ ١٤٧ ـ ١٤٨ ـ ١٤٩ ـ ١٥٠ ـ ١٥١ ـ ١٥٢ ـ ١٥٣ ـ ١٥٤ ـ ١٥٥ ـ ١٥٦ ـ ١٥٧ ـ ١٥٨ ـ ١٥٩ ـ ١٦٠ ـ ١٦١ ـ ١٦٢ ـ ١٦٣ ـ ١٦٤ ـ ١٦٥ ـ ١٦٦ ـ ١٦٧ ـ ١٦٨ ـ ١٦٩ ـ ١٧٠ ـ ١٧١ ـ ١٧٢ ـ ١٧٣ ـ ١٧٤ ـ ١٧٥ ـ ١٧٦ ـ ١٧٧ ـ ١٧٨ ـ ١٧٩ ـ ١٨٠ ـ ١٨١ ـ ١٨٢ ـ ١٨٣ ـ ١٨٤ ـ ١٨٥ ـ ١٨٦ ـ ١٨٧ ـ ١٨٨ ـ ١٨٩ ـ ١٩٠ ـ ١٩١ ـ ١٩٢ ـ ١٩٣ ـ ١٩٤ ـ ١٩٥ ـ ١٩٦ ـ ١٩٧ ـ ١٩٨ ـ ١٩٩ ـ ٢٠٠ ـ ٢٠١ ـ ٢٠٢ ـ ٢٠٣ ـ ٢٠٤ ـ ٢٠٥ ـ ٢٠٦ ـ ٢٠٧ ـ ٢٠٨ ـ ٢٠٩ ـ ٢١٠ ـ ٢١١ ـ ٢١٢ ـ ٢١٣ ـ ٢١٤ ـ ٢١٥ ـ ٢١٦ ـ ٢١٧ ـ ٢١٨ ـ ٢١٩ ـ ٢٢٠ ـ ٢٢١ ـ ٢٢٢ ـ ٢٢٣ ـ ٢٢٤ ـ ٢٢٥ ـ ٢٢٦ ـ ٢٢٧ ـ ٢٢٨ ـ ٢٢٩ ـ ٢٣٠ ـ ٢٣١ ـ ٢٣٢ ـ ٢٣٣ ـ ٢٣٤ ـ ٢٣٥ ـ ٢٣٦ ـ ٢٣٧ ـ ٢٣٨ ـ ٢٣٩ ـ ٢٤٠ ـ ٢٤١ ـ ٢٤٢ ـ ٢٤٣ ـ ٢٤٤ ـ ٢٤٥ ـ ٢٤٦ ـ ٢٤٧ ـ ٢٤٨ ـ ٢٤٩ ـ ٢٥٠ ـ ٢٥١ ـ ٢٥٢ ـ ٢٥٣ ـ ٢٥٤ ـ ٢٥٥ ـ ٢٥٦ ـ ٢٥٧ ـ ٢٥٨ ـ ٢٥٩ ـ ٢٦٠ ـ ٢٦١ ـ ٢٦٢ ـ ٢٦٣ ـ ٢٦٤ ـ ٢٦٥ ـ ٢٦٦ ـ ٢٦٧ ـ ٢٦٨ ـ ٢٦٩ ـ ٢٧٠ ـ ٢٧١ ـ ٢٧٢ ـ ٢٧٣ ـ ٢٧٤ ـ ٢٧٥ ـ ٢٧٦ ـ ٢٧٧ ـ ٢٧٨ ـ ٢٧٩ ـ ٢٨٠ ـ ٢٨١ ـ ٢٨٢ ـ ٢٨٣ ـ ٢٨٤ ـ ٢٨٥ ـ ٢٨٦ ـ ٢٨٧ ـ ٢٨٨ ـ ٢٨٩ ـ ٢٩٠ ـ ٢٩١ ـ ٢٩٢ ـ ٢٩٣ ـ ٢٩٤ ـ ٢٩٥ ـ ٢٩٦ ـ ٢٩٧ ـ ٢٩٨ ـ ٢٩٩ ـ ٣٠٠ ـ ٣٠١ ـ ٣٠٢ ـ ٣٠٣ ـ ٣٠٤ ـ ٣٠٥ ـ ٣٠٦ ـ ٣٠٧ ـ ٣٠٨ ـ ٣٠٩ ـ ٣١٠ ـ ٣١١ ـ ٣١٢ ـ ٣١٣ ـ ٣١٤ ـ ٣١٥ ـ ٣١٦ ـ ٣١٧ ـ ٣١٨ ـ ٣١٩ ـ ٣٢٠ ـ ٣٢١ ـ ٣٢٢ ـ ٣٢٣ ـ ٣٢٤ ـ ٣٢٥ ـ ٣٢٦ ـ ٣٢٧ ـ ٣٢٨ ـ ٣٢٩ ـ ٣٣٠ ـ ٣٣١ ـ ٣٣٢ ـ ٣٣٣ ـ ٣٣٤ ـ ٣٣٥ ـ ٣٣٦ ـ ٣٣٧ ـ ٣٣٨ ـ ٣٣٩ ـ ٣٤٠ ـ ٣٤١ ـ ٣٤٢ ـ ٣٤٣ ـ ٣٤٤ ـ ٣٤٥ ـ ٣٤٦ ـ ٣٤٧ ـ ٣٤٨ ـ ٣٤٩ ـ ٣٥٠ ـ ٣٥١ ـ ٣٥٢ ـ ٣٥٣ ـ ٣٥٤ ـ ٣٥٥ ـ ٣٥٦ ـ ٣٥٧ ـ ٣٥٨ ـ ٣٥٩ ـ ٣٦٠ ـ ٣٦١ ـ ٣٦٢ ـ ٣٦٣ ـ ٣٦٤ ـ ٣٦٥ ـ ٣٦٦ ـ ٣٦٧ ـ ٣٦٨ ـ ٣٦٩ ـ ٣٧٠ ـ ٣٧١ ـ ٣٧٢ ـ ٣٧٣ ـ ٣٧٤ ـ ٣٧٥ ـ ٣٧٦ ـ ٣٧٧ ـ ٣٧٨ ـ ٣٧٩ ـ ٣٨٠ ـ ٣٨١ ـ ٣٨٢ ـ ٣٨٣ ـ ٣٨٤ ـ ٣٨٥ ـ ٣٨٦ ـ ٣٨٧ ـ ٣٨٨ ـ ٣٨٩ ـ ٣٩٠ ـ ٣٩١ ـ ٣٩٢ ـ ٣٩٣ ـ ٣٩٤ ـ ٣٩٥ ـ ٣٩٦ ـ ٣٩٧ ـ ٣٩٨ ـ ٣٩٩ ـ ٤٠٠ ـ ٤٠١ ـ ٤٠٢ ـ ٤٠٣ ـ ٤٠٤ ـ ٤٠٥ ـ ٤٠٦ ـ ٤٠٧ ـ ٤٠٨ ـ ٤٠٩ ـ ٤١٠ ـ ٤١١ ـ ٤١٢ ـ ٤١٣ ـ ٤١٤ ـ ٤١٥ ـ ٤١٦ ـ ٤١٧ ـ ٤١٨ ـ ٤١٩ ـ ٤٢٠ ـ ٤٢١ ـ ٤٢٢ ـ ٤٢٣ ـ ٤٢٤ ـ ٤٢٥ ـ ٤٢٦ ـ ٤٢٧ ـ ٤٢٨ ـ ٤٢٩ ـ ٤٣٠ ـ ٤٣١ ـ ٤٣٢ ـ ٤٣٣ ـ ٤٣٤ ـ ٤٣٥ ـ ٤٣٦ ـ ٤٣٧ ـ ٤٣٨ ـ ٤٣٩ ـ ٤٤٠ ـ ٤٤١ ـ ٤٤٢ ـ ٤٤٣ ـ ٤٤٤ ـ ٤٤٥ ـ ٤٤٦ ـ ٤٤٧ ـ ٤٤٨ ـ ٤٤٩ ـ ٤٥٠ ـ ٤٥١ ـ ٤٥٢ ـ ٤٥٣ ـ ٤٥٤ ـ ٤٥٥ ـ ٤٥٦ ـ ٤٥٧ ـ ٤٥٨ ـ ٤٥٩ ـ ٤٦٠ ـ ٤٦١ ـ ٤٦٢ ـ ٤٦٣ ـ ٤٦٤ ـ ٤٦٥ ـ ٤٦٦ ـ ٤٦٧ ـ ٤٦٨ ـ ٤٦٩ ـ ٤٧٠ ـ ٤٧١ ـ ٤٧٢ ـ ٤٧٣ ـ ٤٧٤ ـ ٤٧٥ ـ ٤٧٦ ـ ٤٧٧ ـ ٤٧٨ ـ ٤٧٩ ـ ٤٨٠ ـ ٤٨١ ـ ٤٨٢ ـ ٤٨٣ ـ ٤٨٤ ـ ٤٨٥ ـ ٤٨٦ ـ ٤٨٧ ـ ٤٨٨ ـ ٤٨٩ ـ ٤٩٠ ـ ٤٩١ ـ ٤٩٢ ـ ٤٩٣ ـ ٤٩٤ ـ ٤٩٥ ـ ٤٩٦ ـ ٤٩٧ ـ ٤٩٨ ـ ٤٩٩ ـ ٥٠٠ ـ ٥٠١ ـ ٥٠٢ ـ ٥٠٣ ـ ٥٠٤ ـ ٥٠٥ ـ ٥٠٦ ـ ٥٠٧ ـ ٥٠٨ ـ ٥٠٩ ـ ٥١٠ ـ ٥١١ ـ ٥١٢ ـ ٥١٣ ـ ٥١٤ ـ ٥١٥ ـ ٥١٦ ـ ٥١٧ ـ ٥١٨ ـ ٥١٩ ـ ٥٢٠ ـ ٥٢١ ـ ٥٢٢ ـ ٥٢٣ ـ ٥٢٤ ـ ٥٢٥ ـ ٥٢٦ ـ ٥٢٧ ـ ٥٢٨ ـ ٥٢٩ ـ ٥٣٠ ـ ٥٣١ ـ ٥٣٢ ـ ٥٣٣ ـ ٥٣٤ ـ ٥٣٥ ـ ٥٣٦ ـ ٥٣٧ ـ ٥٣٨ ـ ٥٣٩ ـ ٥٤٠ ـ ٥٤١ ـ ٥٤٢ ـ ٥٤٣ ـ ٥٤٤ ـ ٥٤٥ ـ ٥٤٦ ـ ٥٤٧ ـ ٥٤٨ ـ ٥٤٩ ـ ٥٥٠ ـ ٥٥١ ـ ٥٥٢ ـ ٥٥٣ ـ ٥٥٤ ـ ٥٥٥ ـ ٥٥٦ ـ ٥٥٧ ـ ٥٥٨ ـ ٥٥٩ ـ ٥٦٠ ـ ٥٦١ ـ ٥٦٢ ـ ٥٦٣ ـ ٥٦٤ ـ ٥٦٥ ـ ٥٦٦ ـ ٥٦٧ ـ ٥٦٨ ـ ٥٦٩ ـ ٥٧٠ ـ ٥٧١ ـ ٥٧٢ ـ ٥٧٣ ـ ٥٧٤ ـ ٥٧٥ ـ ٥٧٦ ـ ٥٧٧ ـ ٥٧٨ ـ ٥٧٩ ـ ٥٨٠ ـ ٥٨١ ـ ٥٨٢ ـ ٥٨٣ ـ ٥٨٤ ـ ٥٨٥ ـ ٥٨٦ ـ ٥٨٧ ـ ٥٨٨ ـ ٥٨٩ ـ ٥٩٠ ـ ٥٩١ ـ ٥٩٢ ـ ٥٩٣ ـ ٥٩٤ ـ ٥٩٥ ـ ٥٩٦ ـ ٥٩٧ ـ ٥٩٨ ـ ٥٩٩ ـ ٦٠٠ ـ ٦٠١ ـ ٦٠٢ ـ ٦٠٣ ـ ٦٠٤ ـ ٦٠٥ ـ ٦٠٦ ـ ٦٠٧ ـ ٦٠٨ ـ ٦٠٩ ـ ٦١٠ ـ ٦١١ ـ ٦١٢ ـ ٦١٣ ـ ٦١٤ ـ ٦١٥ ـ ٦١٦ ـ ٦١٧ ـ ٦١٨ ـ ٦١٩ ـ ٦٢٠ ـ ٦٢١ ـ ٦٢٢ ـ ٦٢٣ ـ ٦٢٤ ـ ٦٢٥ ـ ٦٢٦ ـ ٦٢٧ ـ ٦٢٨ ـ ٦٢٩ ـ ٦٣٠ ـ ٦٣١ ـ ٦٣٢ ـ ٦٣٣ ـ ٦٣٤ ـ ٦٣٥ ـ ٦٣٦ ـ ٦٣٧ ـ ٦٣٨ ـ ٦٣٩ ـ ٦٤٠ ـ ٦٤١ ـ ٦٤٢ ـ ٦٤٣ ـ ٦٤٤ ـ ٦٤٥ ـ ٦٤٦ ـ ٦٤٧ ـ ٦٤٨ ـ ٦٤٩ ـ ٦٥٠ ـ ٦٥١ ـ ٦٥٢ ـ ٦٥٣ ـ ٦٥٤ ـ ٦٥٥ ـ ٦٥٦ ـ ٦٥٧ ـ ٦٥٨ ـ ٦٥٩ ـ ٦٦٠ ـ ٦٦١ ـ ٦٦٢ ـ ٦٦٣ ـ ٦٦٤ ـ ٦٦٥ ـ ٦٦٦ ـ ٦٦٧ ـ ٦٦٨ ـ ٦٦٩ ـ ٦٧٠ ـ ٦٧١ ـ ٦٧٢ ـ ٦٧٣ ـ ٦٧٤ ـ ٦٧٥ ـ ٦٧٦ ـ ٦٧٧ ـ ٦٧٨ ـ ٦٧٩ ـ ٦٨٠ ـ ٦٨١ ـ ٦٨٢ ـ ٦٨٣ ـ ٦٨٤ ـ ٦٨٥ ـ ٦٨٦ ـ ٦٨٧ ـ ٦٨٨ ـ ٦٨٩ ـ ٦٩٠ ـ ٦٩١ ـ ٦٩٢ ـ ٦٩٣ ـ ٦٩٤ ـ ٦٩٥ ـ ٦٩٦ ـ ٦٩٧ ـ ٦٩٨ ـ ٦٩٩ ـ ٧٠٠ ـ ٧٠١ ـ ٧٠٢ ـ ٧٠٣ ـ ٧٠٤ ـ ٧٠٥ ـ ٧٠٦ ـ ٧٠٧ ـ ٧٠٨ ـ ٧٠٩ ـ ٧١٠ ـ ٧١١ ـ ٧١٢ ـ ٧١٣ ـ ٧١٤ ـ ٧١٥ ـ ٧١٦ ـ ٧١٧ ـ ٧١٨ ـ ٧١٩ ـ ٧٢٠ ـ ٧٢١ ـ ٧٢٢ ـ ٧٢٣ ـ ٧٢٤ ـ ٧٢٥ ـ ٧٢٦ ـ ٧٢٧ ـ ٧٢٨ ـ ٧٢٩ ـ ٧٣٠ ـ ٧٣١ ـ ٧٣٢ ـ ٧٣٣ ـ ٧٣٤ ـ ٧٣٥ ـ ٧٣٦ ـ ٧٣٧ ـ ٧٣٨ ـ ٧٣٩ ـ ٧٤٠ ـ ٧٤١ ـ ٧٤٢ ـ ٧٤٣ ـ ٧٤٤ ـ ٧٤٥ ـ ٧٤٦ ـ ٧٤٧ ـ ٧٤٨ ـ ٧٤٩ ـ ٧٥٠ ـ ٧٥١ ـ ٧٥٢ ـ ٧٥٣ ـ ٧٥٤ ـ ٧٥٥ ـ ٧٥٦ ـ ٧٥٧ ـ ٧٥٨ ـ ٧٥٩ ـ ٧٦٠ ـ ٧٦١ ـ ٧٦٢ ـ ٧٦٣ ـ ٧٦٤ ـ ٧٦٥ ـ ٧٦٦ ـ ٧٦٧ ـ ٧٦٨ ـ ٧٦٩ ـ ٧٧٠ ـ ٧٧١ ـ ٧٧٢ ـ ٧٧٣ ـ ٧٧٤ ـ ٧٧٥ ـ ٧٧٦ ـ ٧٧٧ ـ ٧٧٨ ـ ٧٧٩ ـ ٧٨٠ ـ ٧٨١ ـ ٧٨٢ ـ ٧٨٣ ـ ٧٨٤ ـ ٧٨٥ ـ ٧٨٦ ـ ٧٨٧ ـ ٧٨٨ ـ ٧٨٩ ـ ٧٩٠ ـ ٧٩١ ـ ٧٩٢ ـ ٧٩٣ ـ ٧٩٤ ـ ٧٩٥ ـ ٧٩٦ ـ ٧٩٧ ـ ٧٩٨ ـ ٧٩٩ ـ ٨٠٠ ـ ٨٠١ ـ ٨٠٢ ـ ٨٠٣ ـ ٨٠٤ ـ ٨٠٥ ـ ٨٠٦ ـ ٨٠٧ ـ ٨٠٨ ـ ٨٠٩ ـ ٨١٠ ـ ٨١١ ـ ٨١٢ ـ ٨١٣ ـ ٨١٤ ـ ٨١٥ ـ ٨١٦ ـ ٨١٧ ـ ٨١٨ ـ ٨١٩ ـ ٨٢٠ ـ ٨٢١ ـ ٨٢٢ ـ ٨٢٣ ـ ٨٢٤ ـ ٨٢٥ ـ ٨٢٦ ـ ٨٢٧ ـ ٨٢٨ ـ ٨٢٩ ـ ٨٣٠ ـ ٨٣١ ـ ٨٣٢ ـ ٨٣٣ ـ ٨٣٤ ـ ٨٣٥ ـ ٨٣٦ ـ ٨٣٧ ـ ٨٣٨ ـ ٨٣٩ ـ ٨٤٠ ـ ٨٤١ ـ ٨٤٢ ـ ٨٤٣ ـ ٨٤٤ ـ ٨٤٥ ـ ٨٤٦ ـ ٨٤٧ ـ ٨٤٨ ـ ٨٤٩ ـ ٨٥٠ ـ ٨٥١ ـ ٨٥٢ ـ ٨٥٣ ـ ٨٥٤ ـ ٨٥٥ ـ ٨٥٦ ـ ٨٥٧ ـ ٨٥٨ ـ ٨٥٩ ـ ٨٦٠ ـ ٨٦١ ـ ٨٦٢ ـ ٨٦٣ ـ ٨٦٤ ـ ٨٦٥ ـ ٨٦٦ ـ ٨٦٧ ـ ٨٦٨ ـ ٨٦٩ ـ ٨٧٠ ـ ٨٧١ ـ ٨٧٢ ـ ٨٧٣ ـ ٨٧٤ ـ ٨٧٥ ـ ٨٧٦ ـ ٨٧٧ ـ ٨٧٨ ـ ٨٧٩ ـ ٨٨٠ ـ ٨٨١ ـ ٨٨٢ ـ ٨٨٣ ـ ٨٨٤ ـ ٨٨٥ ـ ٨٨٦ ـ ٨٨٧ ـ ٨٨٨ ـ ٨٨٩ ـ ٨٩٠ ـ ٨٩١ ـ ٨٩٢ ـ ٨٩٣ ـ ٨٩٤ ـ ٨٩٥ ـ ٨٩٦ ـ ٨٩٧ ـ ٨٩٨ ـ ٨٩٩ ـ ٩٠٠ ـ ٩٠١ ـ ٩٠٢ ـ ٩٠٣ ـ ٩٠٤ ـ ٩٠٥ ـ ٩٠٦ ـ ٩٠٧ ـ ٩٠٨ ـ ٩٠٩ ـ ٩١٠ ـ ٩١١ ـ ٩١٢ ـ ٩١٣ ـ ٩١٤ ـ ٩١٥ ـ ٩١٦ ـ ٩١٧ ـ ٩١٨ ـ ٩١٩ ـ ٩٢٠ ـ ٩٢١ ـ ٩٢٢ ـ ٩٢٣ ـ ٩٢٤ ـ ٩٢٥ ـ ٩٢٦ ـ ٩٢٧ ـ ٩٢٨ ـ ٩٢٩ ـ ٩٣٠ ـ ٩٣١ ـ ٩٣٢ ـ ٩٣٣ ـ ٩٣٤ ـ ٩٣٥ ـ ٩٣٦ ـ ٩٣٧ ـ ٩٣٨ ـ ٩٣٩ ـ ٩٤٠ ـ ٩٤١ ـ ٩٤٢ ـ ٩٤٣ ـ ٩٤٤ ـ ٩٤٥ ـ ٩٤٦ ـ ٩٤٧ ـ ٩٤٨ ـ ٩٤٩ ـ ٩٥٠ ـ ٩٥١ ـ ٩٥٢ ـ ٩٥٣ ـ ٩٥٤ ـ ٩٥٥ ـ ٩٥٦ ـ ٩٥٧ ـ ٩٥٨ ـ ٩٥٩ ـ ٩٦٠ ـ ٩٦١ ـ ٩٦٢ ـ ٩٦٣ ـ ٩٦٤ ـ ٩٦٥ ـ ٩٦٦ ـ ٩٦٧ ـ ٩٦٨ ـ ٩٦٩ ـ ٩٧٠ ـ ٩٧١ ـ ٩٧٢ ـ ٩٧٣ ـ ٩٧٤ ـ ٩٧٥ ـ ٩٧٦ ـ ٩٧٧ ـ ٩٧٨ ـ ٩٧٩ ـ ٩٨٠ ـ ٩٨١ ـ ٩٨٢ ـ ٩٨٣ ـ ٩٨٤ ـ ٩٨٥ ـ ٩٨٦ ـ ٩٨٧ ـ ٩٨٨ ـ ٩٨٩ ـ ٩٩٠ ـ ٩٩١ ـ ٩٩٢ ـ ٩٩٣ ـ ٩٩٤ ـ ٩٩٥ ـ ٩٩٦ ـ ٩٩٧ ـ ٩٩٨ ـ ٩٩٩ ـ ١٠٠٠

النظام الأمثل ينحصر بالحفاظ على فرق درجات الحرارة بين الوسائط في أجهزة التبادل الحراري والحفاظ على تحميص البخار (زيادة تسخينه) عند السحب إلى الضاغط وكذلك تحديد درجة حرارة الدفع .

١ ـ درجة حرارة الغليان : وتتعلق بدرجة الحرارة اللازمة في المكان المبرد أو بدرجة حرارة وسط التبريد الثانوي .

في حال استخدام النظام المباشر لتبريد الغرفة تؤخذ درجة حرارة الغليان كالتالي :

عند التبريد بالمظاريات $t_0 = t_R - (7 \div 10\ ^\circ C)$

عند التبريد بمبردات الهواء $t_0 = t_R - (6 \div 8\ ^\circ C)$

عند التبريد باستخدام وسط تبريد ثانوي فإن درجة حرارة الغليان

$$t_0 = t_S - (4 \div 6\ ^\circ C)$$

إذ t_S ـ درجة حرارة وسط التبريد الثانوي .

لتبريد غرف الفواكه فإن $t_0 = t_R - 5\ ^\circ C$

في محطات تبريد البواخر من الممكن أن تكون $t_0 = t_R - (12 \div 20\ ^\circ C)$

٢ ـ درجة حرارة التكاثف في المكثفات المائية :

$$t_c = t_{w2} + (2 \div 4\ ^\circ C)$$

إذ t_{w2} ـ درجة حرارة الماء عند الخروج من المكثف

في المكثف الهوائي تكون درجة حرارة الهواء الداخل :

$$t_{a1} = t_m + 0{,}125\ t_{max}$$

إذ : t_m ـ درجة الحرارة الوسطية للشهر الأكثر حرا ($^\circ C$) .

t_{max} ـ درجة الحرارة الوسطية الأعظمية في الشهر نفسه ($^\circ C$)

٣ ـ تسخين الهواء في المكثفات الهوائية : ويتصف بفرق درجتي الحرارة ($t_{a2} - t_{a1}$) إذا كان التدفق الكتلي للهواء غير معروف يعتد تسخين الهواء بحدود ($3 \div 8\ ^\circ C$) ، درجة حرارة التكاثف تؤخذ كالتالي :

$$t_c = t_{a2} + (3 \div 8\ ^\circ C)$$

٤ ــ **تحميص البخار** : ويحدد بالفرق بين درجة حرارة وسيط التبريد المسحوب بالضاغط ودرجة حرارة الغليان . من المناسب استخدام المبادلات الحرارية الإرجاعية . القيمة المثلى لتحميص البخار عند السحب في محطات التبريد العاملة على الأمونيا (5 ÷ 15 °C) وفي محطات الفريون المزودة بمبادلات حرارية فإن تحميص البخار يؤخذ في المجال (10 ÷ 45 °C) .

٥ ــ **درجة حرارة سائل وسيط التبريد قبل صمام التنظيم** : عند زيادة تبريد السائل في المبرد أو في المكثف المائي نفسه نؤخذ أعلى من درجة حرارة الماء الداخل بـ (2 ÷ 3 °C)

درجة حرارة وسيط التبريد المبرد في مبادل حلزوني في الوعاء البيني لمحطة التبريد العاملة على الأمونيا بمرحلتين تؤخذ أعلى بمعدل (2 ÷ 3 °C) من درجة حرارة الغليان في الوعاء البيني .

يخرج سائل وسيط التبريد من الوعاء البيني الذي لا يحوي حلزون بدرجة حرارة تساوي درجة حرارة الغليان في الوعاء البيني .

٦ ــ **درجة حرارة الدفع** : وتتعلق بنوع وسيط التبريد ، درجة حرارة غليانه ودرجتي حرارة التكاثف والسحب . من الضروري أن تكون درجة الحرارة في نهاية الانضغاط في الضاغط متطابقة مع درجة الحرارة النظرية للبخار في نهاية الانضغاط الادبياتي والحاصل من تمثيل الدورة على المخطط إذ لا تكون أعلى من القيمة المسموحة .

درجة حرارة الدفع المسموحة تتعلق بنوع الضاغط وتركيبه وبنوع الزيت المستخدم . في ضواغط الأمونيا الحديثة يجب ألا تتجاوز درجة حرارة الدفع (160 °C) ، وفي الضواغط الافقية البطيئة ذات الطراز القديم (135 °C) . درجة حرارة الدفع في الضواغط المكبسية العاملة على الفريون R12 لا تتجاوز (125 °C) وفي الضواغط ذات المكبس العاملة على R 717 و R22 لا تزيد عن (110 °C) في الضواغط الحلزونية العاملة على R 717 لا تتجاوز (105 °C) والعاملة على الفريون R22 لا تتجاوز (90 °C) .

ارتفاع درجة حرارة الدفع يؤدي إلى احتراق الزيت في مضخة الضاغط وكذلك إلى عدم كفاية مساحة سطوح التكثيف الفعالة وإلى انخفاض قيمة معامل النقل الحراري U، وانخفاض المساحة الفعالة لسطوح التكثيف. وارتفاع درجة حرارة الماء الداخل إلى المكثف أو عدم كفايته.

عدم كفاية مساحة سطوح التكثيف الفعالة يؤدي مكثف به مدفوع مسافيه، أما في الحالة المعاكسة يفصل قسم منها.

معامل النقل الحراري يمكن أن ينخفض بسبب تشكل طبقة كلسية من جهة الماء وتشكل طبقة من الزيت من جهة وسيط التبريد بسبب تغلغل غير المتكثفة (هواء، غاز).

لإزالة هذه الأسباب ينظف سطح التكثيف من الطبقة الكلسية في وقت الإصلاح والصيانة. ويفرغ الزيت من مجمع الزيت، والهواء يفرغ عن طريق الهواء.

المساحة الفعالة للتكثيف يمكن أن تنخفض عند عدم فرغ سائل وسيط التبريد في أنابيب التكثيف بشكل كلي من التكثيف، إن التكثيف لا يمكن أن يقوم بوظيفة الحرارة. هذا ما يحدث عند زيادة مزء النظام بوسيط التبريد وعند سوء عمل خط التوازن الغازي بين الحاويات والتكثيف. عند عدم النقل المنتظم بالماء المدفوع للتكثيف الترطيبي والتبخيري، يعزل قسم من السطوح عن المشاركة في عملية التكثيف وذلك من الضروري تنظيف توزيع الماء وتنظيف مجموعة التوزيع من الأوساخ.

ارتفاع درجة حرارة الماء الناتج عن ارتفاع درجة حرارة الهواء الخارجي يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع غير مسموح به لضغط ودرجة حرارة التكثيف وأيضاً درجة حرارة الدفع، وهذا يشكل خطراً على مضخة الإمداد والأجهزة، لذلك من الضروري التوجه نحو إمكانية استخدام مياه الآبار الارتوازية التي لا تتغير درجة حرارتها بشكل ملحوظ خلال السنة.

ارتفاع ضغط الدفع ينتج عن عدم كفاية مقطع أنبوب الدفع وعدم الفتح الكامل للصمام على خط الدفع وعطب صمام عدم الرجوع.

درجة حرارة الدفع المرتفعة يمكن أن تكون سببا لعمل المحالة بدرجة حرارة غليان منخفضة وبدرجة حرارة تكاثف مرتفعة والتحميص عند السحب .

إن الضاغط غالبا ما يكون سببا في ارتفاع درجة حرارة الدفع . من غير المسموح تجاوز درجة الحرارة النظرية للدفع بما يزيد عن (15 ÷ 10 °C) وإلا فإن الأسباب الرئيسية تكون: تلف الممكبس وحلقات إحكام الأسطوانة وتآكل حلقات الصمامات ، عدم الإغلاق الكامل للتحويلة التي تصل أنابيب السحب والضغط للضاغط ، تسرب في صمام الحماية وهذا يؤدي إلى تسرب قسم ملموس من البخار من جهة الدفع إلى جهة السحب ، عدم تبريد قمصان الأسطوانة بشكل كاف بسبب نقص تغذية القمصان بالماء ، اتساخ القمصان وتشكل طبقة كلسية فيها ، وانغلاق بتزييت الأسطوانة .

الشوط الرطب للضاغط يؤدي إلى الصدمة الهيدروليكية ، التي تسبب عطب الضاغط وخروج وسيط التبريد إلى غرفة قسم الآلات ، وهذا يشكل خطرا كبيرا للأشخاص والبناية والتجهيزات .أثناء الشوط الرطب تنخفض الإنتاجية التبريدية للضاغط . يستدل على الشوط الرطب بانخفاض درجة حرارة الدفع ودرجة حرارة السحب وبالصوت المميز للآلات وبتشكل الجليد على جدران الأسطوانات .

عند بدء الشوط الرطب من الضروري قطع تغذية السائل لنظام التبخير (المبخرات) وإغلاق صمام السحب جزئيا . أحيانا يتطلب الأمر إغلاق صمام السحب بشكل كامل تقريبا . بانتهاء الشوط الرطب للضاغط تزداد فتحة صمام السحب بالتدريج . في حال المنشآت الهيدروليكية التي يتحدد وجود بسرعة تناقص درجتي حرارة الدفع والسحب وبالصدمة في الضاغط يجب إيقاف الضاغط وبسرعة عن العمل ، وبعد ذلك إجراء العمليات اللازمة لطرح السائل من الأنابيب والضاغط (بعد تصريف الماء من القمصان وفواصل الزيت) .

إن مسببات الشوط الرطب هو المستوى العالي للسائل في أجهزة التبريد والأجهزة المتوضعة في جهة السحب وهذا ناتج عن تغذية السائل الزائدة لنظام التبخير ، زيادة ملء نظام وحدة التبريد بوسيط التبريد (يجب تصريف قسم من وسيط التبريد الى الخزانات الاحتياطية) ، العمل غير الجيد لأجهزة التحكم وتنظيم المستوى في أجهزة الدوران والحماية والعناصر

الأخرى . الشوط الرطب يمكن أن يحدث عند وجود أكياس سائل في خطوط السحب حيث يتجمع الزيت والماء ، والذي يمكن أن ينتج عن تركيب غير صحيح للأنابيب .

٢ ـ ٤ ـ ٤ ـ خدمة عناصر معدة التبريد :

أولا : خدمة الضاغط : وتعني الحفاظ على الشروط المثلى اللازمة لعمله، ومراقبة عمل نظام التزيت ونظام التبريد المائي ، والعناية الفنية بالضاغط . بالإضافة إلى خلل النظام الأمثل للضاغط يمكن أن تظهر المشاكل التالية التي يجب ازالتها :

١ ـ التسخين الزائد للأجزاء المتحركة . على الأغلب يتم تحديد ذلك عن طريق درجة حرارة الزيت أو باللمس ، ولإظهار ذلك يجب اختبار الأسطوانات ، المضاجع ، القشور ، الكارتر . يسمح بتسخين الأجزاء بمعدل 20 °C اعلى من درجة حرارة قسم الآلات .

إن السبب الرئيسي للتسخين الزائد هو درجة الحرارة العالية للغرفة ، التركيب غير الصحيح للمضاجع (الانحراف عن القيمة الطبيعية للخلوص بين المحور والمضجع) ، والعمل السيء لنظام التزيت .

٢ ـ ظهور صوت طرق في أجزاء الضاغط أو تغير صوت الضجيج . هذا يمكن أن يتم نتيجة الأسباب التالية .

أ ـ الشوط الرطب والصدمة الهيدروليكية .

ب ـ زيادة الخلوص بين الأجزاء الناتج عن تصنيع المضاجع .

ج ـ التآكل بين المكبس والأسطوانة .

د ـ تحطم الأسود وأجزاء الصمامات .

عند ظهور الطرق يجب إيقاف الضاغط فورا .

٣ ـ العطب في الصمامات الناتج عن كسر في زوايتها أو نوابضها ، زيادة صواميل التوقف التي تربط أجزاء الصمامات . هذا العطب يحدد بحدوث صدمة في الأسطوانة . وقوع أجزاء الصمام بين المكبس والأسطوانة يؤدي إلى حوادث شديدة .

عدم الإحكام في أجزاء الضاغط المترابطة يجب ان يزال لأن خروج وسيط التبريد يمكن أن يشكل خطرا للأشخاص .

عند استثمار محطات تبريد بمرحلتي الضغط يتم التحكم أيضاً بالضغط ومستوى السائل في الوعاء البيني .

في الوعاء البيني يستقر الضغط المحدد بشكل ذاتي وتغيره يمكن أن يكون بنتيجة الانحراف عن النظام الطبيعي تعمل وتختل في الصواعق . انخفاض الضغط البيني يشير إلى انخفاض إنتاجية مرحلة الضغط المنخفض . انخفاض الإنتاجية الحجمية يكون بسبب مرور الغاز في الصمامات والتعويلات وكذلك بسبب تآكل الأسطوانات والمكابس وحلقات الإحكام . لتقليل الاحتكاك ، زيادة الإحكام في الخلوصات وللحماية من الصدأ تستخدم زيوت خاصة . عند الضغوط العالية تنخفض اللزوجة وهذا يحد من تشكل طبقة زيتية بين الأجزاء المتحركة ، عند درجات الحرارة المنخفضة تزداد لزوجة الزيت . وعند درجة حرارة التجمد يتجمد الزيت وهذا يؤدي إلى تشكل انسدادات في نظام التبخير وصعوبة طرح الزيت من النظام ولذلك لأجل محطات التبريد يتم اختيار زيت ذي درجة حرارة تجمد منخفضة ودرجة حرارة اشتعال مرتفعة (لا تقل عن 160 °C) .

الجدول (٢ ــ ١٠) يبين خواص بعض الزيوت المستخدمة في روسيا .

الجدول (٢ ــ ١٠) :

وسيط التبريد	ماركة الزيت	درجة الحرارة °C	
		الاشتعال في بوتقة مفتوحة	التجمد
R 717	XA	١٦٠	– ٤٠
	XA – 23	١٧٥	– ٣٨
	XA – 30	١٨٥	– ٣٨
	XA – 34	١٨٠	– ٣٤
R12	Xõ - 12 - 18	160	– ٤٠
	XM – 35	١٨٠	– ٣٥
R22	Xõ - 22 - 24	١٢٥	– ٥٥

تابع الجدول (٢ ـ ١٠)

ـ ٥٨	٢٢٥	Xϕ - 22c – 16	
ـ ٤٨	٢٤٠	XC – 40	

يجب ألا يحوي الزيت على شوائب وماء .

من أجل العمل الطبيعي لنظام تزيت الضواغط المكبسية يجب أن يكون الضغط في جهة الدفع لمضخة الزيت أعلى من الضغط في الكارتر بمقدار (400 Kpa ÷ ٥٠) ، وضغط الزيت قبل التغذية للضاغط الحلزوني أعلى بمعدل (60 Kpa ÷ ٤٠) من ضغط التكاثف .

أثناء عمل الضاغط يُنقل الزيت إلى أنابيب الدفع وبالمقابل تقل كميته في الكارتر . يتم الحفاظ على المستوى الطبيعي للزيت في الكارتر إذ يقع

بين (2/3 و 1/2) ارتفاع زجاجة البيان

ثانياً ـ خدمة أجهزة التبادل الحراري : وتشمل بشكل أساسي التحكم ببارامترات الوسط ومقارنتها بالقيم المثلى والتحكم بمستوى وسيط التبريد ووسيط التبريد الثانوي وكثافة وسيط التبريد الثانوي وتنظيف سطح التبادل الحراري من الأوساخ .

ينظف سطح المكثف من الترسبات الكلسية وتستخدم لأجل ذلك طرق ميكانيكية وكيميائية .

يُطرح زيت التزيت والأوساخ المتشكلة من جهة وسيط التبريد من سطح المكثف إلى مجمع الزيت او إلى الخارج في فترة الصيانة أو الكسح .

تتخلف المبخرات من الزيت بطرحه الى الخارج ويفضل إجراء ذلك بعد تسخين المبخر .

خلال فترة الاستثمار ينجز عامل الخدمة العمليات المساعدة التالية :

ملء النظام بوسيط التبريد أو طرحه منه ، ابعاد الزيت من النظام والأجهزة ، طرح الغازات غير المتكثفة .

يعبأ النظام بوسيط التبريد من البالونات الشكل (a ، ٣ ـ ١٠) ، أما محطات التبريد الكبيرة المعتمدة على الأمونيا تعبأ من المصهاريج الشكل (b ، ٣ ـ ١٠) .

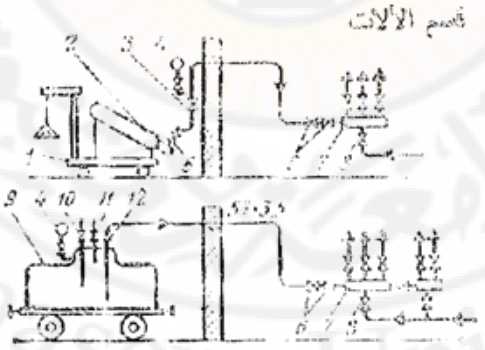
كمية الرطوبة التي يحويها وسيط التبريد يجب ان لا يزيد عن (٠,٢ %) بالنسبة للأمونيا و (٠,٠٠٢ %) بالنسبة لـ R 12 (للمحطات الكبيرة) و (٤ × ١٠ ـ ٤ %) للآلات المغلقة.

تدهن بالونات الأمونيا عادة بلون أصفر وبالونات الفريونات بلون فضي يتم التحقق من محتوى البالون الموصول ٢ ويوزن على الميزان ١ . يعبأ النظام عن طريق محطة التنظيم ٧

بستخدام أنبوب ذي صمامات ٢ و ٣ توصل البالونات بالصمام ١ ويرتبط الصمام ٨ بالسي الأنبوب تقدم من تحكمات ، بالصمامات ٢ و ٣ تفتح بشكل كامل ، وبعد ذلك يتم دفع الصمام ٥ بالتدريج ، عند تحريك الغاز من البالون يوضع الأخير على قاعدة خشبية إذ يكون الصمام من الجهة السفلى ، خارج البالون من سلال وسيط التبريد وتحدد بمساعدة الميزان ، وبانخفاض الضغط وبتشكل التاج حمل الصمام والجزء الأرفل من البالون وكذلك دسول الأنبوب . عندما يبدأ التاج بالدوران نفصل البالون ، وقبل ذلك يغلق الصمامان ٥ و ٣ . بين الفرق بين كتلة البالونات قبل وبعد التعبئة تحدد كتلة وسيط التبريد المسرأة في النظام . تتوضع البالونات خارج قسم الآلات . يمنع تسخين البالونات بهدف الإسراع في التفريغ ويمنع القيام بإصلاح البالونات وهي معبأة .

تتم تعبئة البالونات بوسيط التبريد من الخارج مع مراعاة الحمل الأقصى للتعبئة : بالنسبة للأمونيا R 717 يكون الحمل Kg 0,3 كيلوغرام واحد ليتر من حجم البالون ، الفريون R12 يكون Kg 1 والفريون R22 يكون Kg 0,8 . تتم تعبئة البالونات توضع على ميزان بشكل مائل والصمام نحو الأعلى .

تتم التبرئة من الهواء بوساطة أنبوب الإسراع في تفريغ الصهريج بدفع بخار الأمونيا من جهة دفع الضاغط عبر الصمام ١١ . يُراقب الضغط في الصهريج بواسة المانومتر ويجب ألا يتجاوز القيمة المحددة .



الشكل (٣ - ١٠) : مخطط شحن النظام بالأمونيا

a : من البالونات b : من الصهاريج

١ : ميزان ٢ : بالون

٣ و ٤ و ٦ و ٧ و ١٠ و ١٢ : صمامات

٤ : مقياس ضغط ٧ : محطة تنقية ٩ : صهريج .

الفصل الحادي عشر

جليد الماء الاصطناعي

١١ - ١ الخواص الفيزيائية لجليد الماء

الخواص الفيزيائية للجليد الصافي عند درجة الحرارة 0 °C وضغط 0.098 Mpa هي التالية :

درجة حرارة الانصهار	0 °C
حرارة الانصهار	333.2 Kj/Kg
الحرارة النوعية	2.09 Kj/Kg.°C
الموصولية الحرارية	2.32 w/m.°C
الكثافة النوعية	900 Kg/m³

عند تحول الماء إلى جليد يزداد حجمه بمعدل (9 %) .

استخدام جليد الماء يعتمد على خاصية انصهاره عند 0 °C وبذلك يأخذ حرارة من الوسط المحيط لتبريد المواد الغذائية .

كمية الحرارة اللازمة لتحويل كيلو غرام واحد من الجليد بدرجة حرارة t_i إلى ماء بدرجة حرارة t_w تتألف من :

الحرارة المصروفة لتسخين الجليد من درجة الحرارة t_i إلى درجة حرارة الانصهار ، الحرارة المصروفة لانصهار الجليد ، والحرارة المصروفة لتسخين الماء الحاصل من درجة حرارة الانصهار حتى درجة الحرارة النهائية للماء t_w

$$q = 2.09\, t_i + 333.2 + 4.186\, t_w \qquad (11 - 1)$$

إذ 4.186 Kj/Kg.deg الحرارة النوعية للماء عند درجة حرارة 0 °C .

كمية الحرارة التي يمكن الحصول عليها خلال زمن τ تتعلق من شروط انتقال الحرارة بالجدران وتزيد الحرارة المنتقلة خلال كل m² من سطح الجدار الحراري للخزان المعدني .

$$Q = K \Delta t \tau \delta \quad (II - 2)$$

حيث : Q — كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدار المعدني kcal/kg .

K — كثافة الحرارة kcal/m² h °C .

δ — سماكة الجدار m .

k — معامل انتقال الحرارة للمادة المستخدمة kcal/m h °C .

Δt — فرق درجات الحرارة °C .

τ — زمن مرور الحرارة (ساعة) .

٢ — ١١ — مواد بناء الجدار الكتلي :

قد نحصل على الجدار المطلوب بتجميع مواد في مواقعها الجدار ذات تصميم مختلف حسب شكل وطريقة تجميع هذه المواد التي إما : ذاتية (رطبة) ، كتلية ، مطروقة ، حرفية ، معدنية .

وحسب نوعية المواد المستخدمة يمكن تقسيم الجدار إلى : ١ — جدار من حجر طبيعي مقطوع ويمكن الحصول عليه من مناجم الحجر ، وهذا الحجر يتميز بمقاومة عالية للضغط (للاختراق) . ٢ — الجدار المصنع من الحجر الصناعي وغيره (من الحديد والصلب المختلفة). الجدار الصناعي يستخدم في المنشآت الهندسية والكيميائية ومصانع السكر في المواصلات .

الحجر الذي يدخل في تجميع الجدار يسمى مادة الجدار ، وتقسم هذه الحجارة لمجموعات ثلاثة :

١ — حجارة طبيعية ، يحصل على الجدار .

٢ — حجارة الفرن .

٣ – بساطة التصميم والخدمة ، وثوقية العمل .

٤ – الاستهلاك القليل للمعدن وصغر المقاييس الخارجية .

٥ – قلة الكتلة الأساسية للجليد .

الجليد الكتلي ينتج بأوزان مختلفة : 3 ، 5 ، 12,5 ، 25 ، 50 كغ وذلك بتجميد الماء في قالب الجليد بتغطيسها في حوض معزول ومملوء بمحلول التبريد . من المحاليل المستخدمة عادة محلول ملح الطعام ($\rho = 1,16 \div 1,17\ Kg/m^3$) ، توضع في الحوض مقاطع تبخير لا تقوم بحفظ درجة حرارة المحلول بحدود $-10\ C$ ، وتوضع أيضا خلاطات لزيادة سرعة حركة المحلول .

توصل المبخرات بآلة تبريد مستقلة تعمل فقط من أجل مولد الجليد أو بآلة التبريد التي تزود البراد بالبرد .

تصنع القوالب من الفولاذ المغلفن بسماكة من ١ إلى ٢,٥ مم بشكل هرم ناقص لتسهيل نزع الجليد ، وتزود هذه القوالب بمسكات أو توصل بإطارات معدنية ذات خطاطيف من أجل الإزاحة والنزع بوساطة رافعة كهربائية .

في مولدات الجليد العاملة على المحلول (الشكل ١ – ١١) يتم الحصول على جليد عكر (قاتم) بكثافة ($900 \div 890\ Kg/m^3$) ويستخدم بشكل اساسي للأغراض الفنية ، ويتم الحصول أيضا على جليد صاف (شفاف) بكثافة ($917 \div 915\ Kg/m^3$) ويستخدم بشكل أساسي في الصناعات الغذائية .



شكل (٢ - ١٠) : طريقة تجليد الكتب يدوياً على الخطوات

١ : القاطع البخاري ٢ : الحديد ٣ : خشب

٤ : ميكانيزم دفع ٥ : قالب الثني ٦ : محطة تعشية

٧ : رافعة كبريتية ٨ : مدحلة قلب (دفع) .

٩ : منحنى الجلد ١٠ : خزان الإذابة

١١ : مكان حفظ الجلد ١٢ : مقدمة خشبية للخدمة .

يتم الحصول على الجليد الشفاف بخلط النشاء بوساطة الهواء المضغوط بضغط زائد (0,034 Mpa ÷ 0,014) أو (0.245 Mpa ÷ 0.172) وذلك وفقاً لطريقة الحصول على الجليد الشفاف عند ضغط منخفض وعند ضغط مرتفع . عند ذلك تسحب فقاعات الهواء الذائبة في الماء .

من أجل توزيع الهواء بشكل متجانس بين القوالب يوضع صمام خنق في كل من الأنابيب التي يتم من خلالها تغذية الهواء . عند إنتاج الجليد وفق الطريقة الأولى (ضغط منخفض) يندفع الهواء إلى كل من القوالب عبر أنبوب معدني مثقب أو غير مثقب بقطر (8 mm) ومثبت في وسط القالب حتى ٣/٤ من عمقه تقريباً . عند انتهاء التجميد تتم إذابة الأنابيب بوساطة البخار ومن ثم سحبها . عند ذلك يبقى في وسط الكتلة الجلدية لب غير شفاف .

٢ ــ تخفيض درجة حرارة المحلول من 10 °C حتى 15 °C .

٣ ــ التقليل من تجميد لب الأغلفة الجليدية بمعدل (١٠ : ١٥ %) .

إن تخفيض درجة حرارة المحلول الى 15 °C يسرع التجميد بمعدل ٢٥ % ، ولكن تزداد قساوة الجليد .

إن مثل هذا الجليد يستخدم بشكل أساسي مكسر ، إضافة بلوك حجر الثلج الى الماء يمكن التقليل من القساوة .

بعد التجميد يتم سحب القوالب المعدنية من حوض التبريد ، ثم يتم تجنيب عن جدرانها الداخلية بتعريضها لأحواض لمدة (2 : 4 min) في ماء دافئ بدرجة حرارة (40 : 50) ، وبعد ذلك تقلب القوالب الجليدية لمدة قصيرة بشكل مائل على مكشط الجليد بدرجة حرارة (10 : 30) .

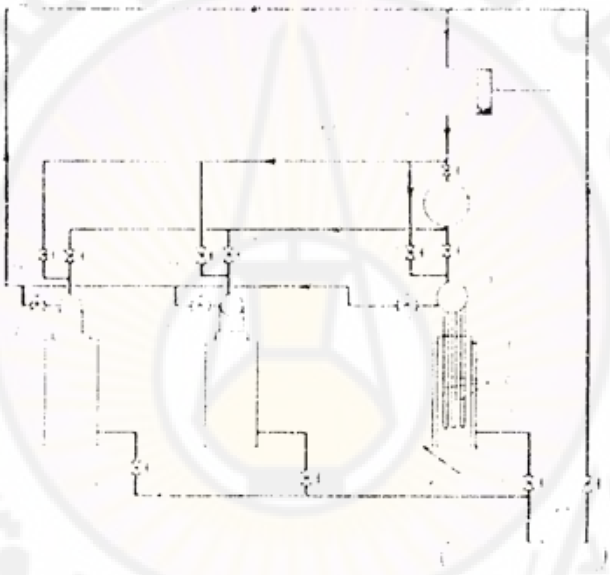
عند ذلك فإن الثلج في الجليد يشكل (0,5 : 2 mm) من الجليد في الوحدة .

يمكن تسريع العملية برفع درجة حرارة الماء الى (15) ، ولكن هذا يحتاج إلى عملية تبريد إضافية حتى (10 : 5) .

بعد العملية يدفع القالب على مكشط الجليد ، حيث تخلع الجليدة الجاهزة في مكبس الجليد (الدرزين) ، القوالب تغسل من أجل التعبئة بالماء الدافئ .

إن الجليد المركب يتعلق بدرجة حرارة المحلول المستعمل فيها ، عند درجة حرارة المحلول (12 - : 10 -) ودرجة حرارة هواء وسيط التبريد (17 - : 15 -) فإن درجة حرارة تجمد المحلول 20 - ، وبالتالي تكون الكثافة 1,17 kg/m .

يجب أحياناً التركيز بشكل منتظم والحفاظ عليه دائماً بإضافة الملح الى المحلول ، لأنه في عملية الاستثمار يكتسب المحلول رطوبة من الهواء ومن القوالب . من أجل التقليل من صدأ القوالب والحوض يجب أن يكون المحلول نقياً نظيفاً وصافٍ وأن يكون حيادي التفاعل (PH 6,5 : 7) ويتم الحفاظ على ذلك بأن يضاف إلى المحلول مواد مقاومة للصدأ وثاني أكسيد الكربون .



٣ ـ ١١ ـ مولدات الجليد الثلجي والأنبوبي

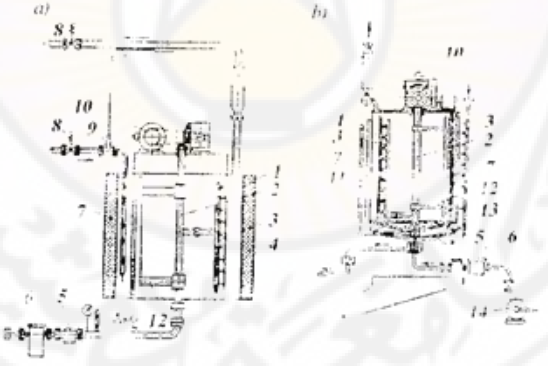
بنتيجة سيلان الماء تتجمد طبقة جليد رفيعة تقطع بوساطة سكين مثبتة على المحور العمودي الدوار . الجليد الحاصل مع الماء يساق إلى حوض ومنه يؤخذ من أجل الإنتاج .

إن صغر سماكة الطبقة المتجمدة يسمح باختصار زمن تجميد الماء بشكل كبير ، ولكن مولدات الجليد ذات التجميد من جهة واحدة (الشكل a ، ٣ ــ ١١) تستهلك كمية كبيرة من المعدن .

هناك مولدات جليد عمودية يتم فيها تجميد الجليد على أسطوانة المبخر من كلتا الجهتين (الشكل b ، ٣ ــ ١١) .

على الإطار العمودي يثبت مبخر بشكل وعائين أسطوانيين من الفولاذ متوضعين أحدهما بالآخر ومتصلين عند نهايتهما بوساطة فلنشات مشكلة بذلك فراغ حلقي من أجل دوران وسيط التبريد .

داخل المبخر يدار محور مركب عليه لولبين مع دلالات من أجل ترقية الماء على السطحين الخارجي والداخلي للمبخر وتركب أيضا دعامة مع سكاكين من أجل نزع الجليد المتشكل على السطحين .



الشكل (٣ ــ ١١) : مولد جليد شحن

١ : مبخر ٢ : محور ٣ : دلبة ٤ : عازل

٥ : مقياس تدفق الماء ٦ : مصفاة ماء ٧ : أداة قطع

٨ : صمام كيرطيسي ٩ : صمام تنظيم ترموستاتي

١٠ : جهاز القيادة (التدوير) ١١ : دعامة خارجية

١٢ : دعامة سفلية ١٣ : سكة



٤ ــ ١١ ــ مصانع الجلد الاصطناعي

الإنتاجية التبريدية المطلوبة للضاغط تتألف من التالي :

١ ــ البرد اللازم لتحضير الجليد .

٢ ــ البرد اللازم لتشكيل الجليد المذاب أثناء عملية تنقية المحلولات الجليدية عن الأنابيب .

٣ ــ البرد اللازم لتبريد مولدات الجليد بعد تسخينها في عملية الإذابة .

٤ ــ البرد الضائع إلى الوسط المحيط .

كمية البرد اللازم لتجميد ١ كغ من الجليد

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \qquad (11-7)$$

إذ : q_1 ــ مصروف البرد اللازم لتبريد ١ كغ من الماء من درجة الحرارة البدائية t_w حتى 0 °C وتجميد الماء وتبريد الجليد من 0 °C حتى درجة الحرارة النهائية $t_i = -5$ °C ،

q_2 ــ مصروف البرد للحصول على الجليد والذي يفقد عند عملية الإذابة عن القوالب ،

q_3 ــ مصروف البرد اللازم لتبريد المعدن ، عناصر مولد الجليد ، والقوالب .

q_4 ــ ضياع البرد إلى الوسط المحيط غير المعزل ، ويأخذ عموماً ١٥ % من مجمل مصاريف البرد الأخرى.

إنتاجية الضاغط التبريدية اللازمة لتجميد G′ كغ جليد :

$$Q_0 = q\,G' \frac{1}{3600} \quad , kw \qquad (11-8)$$

أثناء الحسابات التقريبية لمصانع الجليد يمكن أخذ المصروف النوعي للبرد لإنتاج ١ كغ من الجليد الكتلي وفق معطيات الجدول التالي :

إنتاجية مصنع الجليد طن/يوم	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
مصروف البرد لإنتاج الجليد kj/kg	٦٣٠	٥٨٥	٥٦٥	٥٤٥	٥٠٢

بعد تحديد مصروف البرد (الحمل التبريدي) اليومي للمصنع ، يعطى زمن عمل آلة التبريد في اليوم (22 h ÷ 20) ويتم إيجاد الإنتاجية التبريدية المطلوبة للضاغط ، (W) :

$$Q_0 = 1.05\,Q \frac{24}{Z} \qquad (11-9)$$

إذ : Q ــ مصروف المصنع الجليدي من البرد ، (W) باليوم

/ ـ زمن عملية تبريد (h) .

$t_{(n)}$: قيمة الحد الأعظم لمتوسط لزوجة في الخليط (° S) .

المعايلة الحرارية :

هذه الحسابات تزعن الأحمال الحرارية التي تمكن حفظ الخليط من مصدر حرارة محيطة ، التي تؤثر على سطوح حفظ بفقد الحرارة للخارج ، وسمح بحدوث التبخير الطبيعي للحبيبات قصد الإبقاء على ثبات الحفاظ على نوعية الحرارة في مناسب الحفظ ، ومن ثم لإنتاج الخليط في مناسب الخليط .

مصدر فقد الحرارة الناتج الخليط ينتقل من مصدرات فقد الحرارة خلال جدران الحجرة ، وسقف الحجرة ، وأرضية الحجرة ، وفقد الحرارة الخليط حين دخوله الحجرة :

$$Q = m \cdot 1000 [(t_w - 0) + 80 + C_1 (0 - t_1)] \quad , Kcal / h \quad (11 - 10)$$

Q : كمية الخليط المراد تبريدها ، طن / ساعة .

t_w : درجة حرارة الخليط عند دخوله الحجرة (° C) .

t_1 : درجة الحرارة النهائية للخليط (° C) .

C_1 : الحرارة النوعية للخليط (Kcal / Kg . ° C) .

مصدرات فقد الحرارة الناتجة عن التنفس الخليط عند تخزينه في مخازن الحجرة :

$$Q = \frac{m_1 \cdot 1000}{g} \cdot g_1 \cdot C_m (t_R - t_1) \quad , kcal / h \quad (11 - 11)$$

m_1 : كمية الخليط المخزنة ، kg .

g : وزن الـ 25 كغ من الخليط ، kg .

g_1 : الحرارة النوعية للخليط (kcal / Kg . ° C) .

t_R : درجة الحرارة الداخلية للخليط (تأخذ عادة درجة الحرارة الخارجية للخليط) ، (° C) .

t_1 : درجة الحرارة المخزن (° C) .

مصدرات فقد الحرارة الناتجة عن الانتقال الحراري عبر سطوح جدران الحجرة :

$$Q_3 = F_1 K_1 (t_R - t_1) \quad , Kcal / h \quad (11 - 12)$$

F : المساحة الجانبية لخزان بالمتر المربع .

K : معامل انتقال الحرارة الكلي لجدران الخزان بوحدة (Kcal / m² . h . deg) .

t_w : درجة حرارة الماء في الخزان (° C) .

وتحسب كمية الحرارة الضائعة من الخزان بالعلاقة :

$$Q_4 = \frac{m_1 \cdot 1000}{g} \cdot f\delta\rho_1 [(t_w - 0) + 80 + 6 (0 - t_1)]$$

أو :

$$Q_4 = \frac{\rho_1 \cdot f\delta}{g} \cdot Q_1 \quad \text{Kcal / h} \qquad (11 - 13)$$

ρ_1 : سطح الخزان الخارجي (m²) .

δ : سماكة (جدار) الخزان (m) .

ρ_1 : كثافة الخزان (kg / m³) .

وتحسب كمية الحرارة الضائعة من الخزان المعزول بالعلاقة :

$$Q_5 = 860\ N_1 \quad \text{Kcal / h} \qquad (11 - 14)$$

N_1 : الاستطاعة المعدنية لمضخة التعبئة الخاصة بالخزان (kW) .

ومجموع الضياع الحرارية الناتجة عن الخزان يساوي :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad \text{Kcal / h} \qquad (11 - 15)$$

وتعتبر هذه الكمية الحد الأعظمي الذي يمكن فقده من الخزان المعزول في الساعة الواحدة من الضياع الحرارية عن طريق الجدران والأرض والسقف والتي يجب أن تعوض بالتسخين الكهربائي ، وهي لا تشمل الضياع الحرارية عن طريق الأبواب ، وحرارة الأشخاص ، وغير ذلك .

الضياع الحرارية عبر أي جدار يمكن تمثيله (الجدران ، الأرض ، السقف) تحدد كالتالي :

$$Q_6 = F_1 K_1 (t_{out} - t_{in}) \quad \text{Kcal / h} \qquad (11 - 16)$$

F_1 : المساحة المسطحة للجدار المدروس بـ (m²) .

K : معامل انتقال الحرارة الكلي لمادة الجدار (Kcal / m² . h . deg) .

. ( ) — درجة حرارة المحيط الخارجي

. ( ) — درجة حرارة سطح المحيط

كمية حرارة الأشعة الشمسية المفقودة عن السطح الخارجي كما يلي :

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_e \quad , \text{ Kcal/h} \qquad (11-17)$$

. Kcal/m².h.deg( ) — معامل انتقال الحرارة السطحي

F — مساحة السطح المعرضة للإشعاع الشمسي ، m^2 .

Δt_e — الفرق الزائد لدرجة الحرارة الذي يسبب الإشعاع الشمسي في الحرارة المحيطة .

( ) .

$$\Delta t_e = 0.75 \frac{IP}{2\alpha}$$

0,75 : — معامل يأخذ بالحسبان امتصاص الجزء الأحمر من الإشعاع الشمسي .

I — شدة الإشعاع الشمسي المحسوبة للجهة المعنية ، Kcal/m².h .

P — معامل امتصاص الإشعاع الشمسي من قبل السطح .

2α — معامل انتقال الحرارة الكلي من السطح الخارجي إلى الهواء المحيط .

قيم معامل امتصاص الإشعاع الشمسي لبعض المواد مدرجة في الجدول التالي :

المادة	معامل الامتصاص	المادة	معامل الامتصاص
الإسفلت	٠,٨٩	القطب الأبيض المطلي	٠,٢٦
الثلج	٠,٦٥	الورق المقوى	٠,٩١
الفحم	٠,٩٠	الفضة النقية	٠,٤٠
الشعر الأسود	٠,٤٠	الفضة القديمة	٠,٥٦
القطب الأحمر	٠,٧٧ ٠,٢٠	الزجاج الشفاف	٠,٨٦
		الزجاج المعتم	٠,٩٢

تجدر الإشارة أخيراً إلى أن الضوء الأبيض يعكس أكبر كمية حرارة من الإشعاع الشمسي تليه الألوان الأخرى تبعاً لدرجة امتصاصها للتركيب الطيفي.

η_1 ... مردود المحرك الكهربائي

مصروف البرد بسبب فتح الأبواب يمكن أن يؤخذ بمعدل (10 ÷ 15 kcal / h) لكل متر مربع واحد من أرض المكان :

$$q_4 = (5 \div 10) \cdot F_f \quad , kcal/h \qquad (11 - 23)$$

بهذا الشكل فإن المصروف الإجمالي للبرد من أجل مكان الحفظ يشكل

$$Q_1 = Q_6 + Q_7 + Q_8 \quad , kcal/h$$

في بعض المصانع تتم زيادة تبريد الجليد حتى درجة حرارة (- 8 °C ÷ - 10) من أجل تجفيف سطوحه وتجنب تجمده على بعضه البعض .

يخضع لهذه المعالجة عادة الجليد المكسر ، الكبير أو المجروش .

مصروف البرد اللازم لزيادة تبريد الجليد تحدد بالشكل التالي :

$$Q_9 = m_i \cdot 1000 \cdot C_i (t_i - t'_i) \quad , kcal/h \qquad (11 - 24)$$

t'_i ... درجة حرارة الجليد بعد زيادة التبريد ، °C .

مجمل مصروف البرد لمعمل الجليد بعد أخذ زيادة التبريد بالحسبان يشكل

$$Q_C = Q_1 + Q_7 + Q_9 \quad , kcal/h \qquad (11 - 25)$$

مسألة محلولة :

حسب حمولة جليد كتلي لتصنيع ((فليك شيفيتش)) لإنتاج الجليد بكتل ذات وزن (25 kg) . مقاييس الكتلة (190 x 190 mm) في المقطع السفلي و (160 x 160 mm) في المقطع العلوي ، ارتفاع الكتلة (1000 mm) الشكل (11 – 5 , a). أما الشكل (11 – 5 , b) يبين جزء من القوالب بشكل مقطع عند الجهة السفلية .

إنتاجية المولد $G'i = 6 \frac{T}{day}$ ، (ستة أطنان في اليوم) .

يدخل الماء إلى قوالب الجليد بدرجة حرارة $t_1 = 12\ °C$ ، أما الجليد فينتج بدرجة حرارة $t_i = -4\ °C$.



[illegible]

[illegible]

[illegible]

الحـل :

١ ـ كتلة [illegible] :

$$gb = V\rho = [(\frac{0,190+0,20}{2})\cdot 1 - 5\pi\frac{0,014^2}{4}]\,0,095\cdot 917$$

$= (0,0306 - 0,00073)\cdot 917 = 0,0298\cdot 917 = 27,5\ kg$

[illegible] $917\ kg/m^3$ [illegible]

٢ ـ [illegible]

$1\ mm$. [illegible]

وبالتالي فإن :

$$\Delta gb = \Delta V\rho = (1\cdot\frac{0,190+0,260}{2}\cdot 1,0 + 0,19 - 5\pi\cdot 0,015\cdot 0,95)\cdot 0,001\cdot 917$$

$= (0,7 + 0,036 - 2,224)\cdot 0,917 = 0,9\ kg$

الكتلة الفعالية لقاعدة الجليد تكون :

$$g_b = 27.5 - 0.9 = 26.6 \text{ kg}$$

نظرا لإمكانية انحراف كتلة القطعة الجليدية عن القيمة المحسوبة وقيمة الضياع عند النقل الى المخزن (مكان الحفظ) ، فسوف نعتبر فيما بعد ان الكتلة (القطعة) الجليدية ستكون ذات كتلة ($g_b = 25$ kg) .

نسبة الجليد المذاب ، أي كمية الجليد الضائع عند الإذابة :

$$Y = \frac{\Delta g_b}{g_b} = \frac{0.9}{25} = 0.036 = 3.6\ \%$$

نسبة الحجم من الكتلة الجليدية ΔV_b الذي يشكل الفراغ الناتج عن الإذابة التي كانت مشغولة بالأنابيب سابقا :

$$\Delta V_b = \frac{5 \times \frac{\pi \times 0.0162}{4} \times 0.95 \times 100}{\left(\frac{0.188 + 0.158}{2}\right)^2 \times 0.99} \cdot \frac{0.00096 \times 100}{0.0296} = 3.2\%$$

٣ ـ الإنتاجية اللازمة للمعمل :

$$G''_i = G'_i(1 + y) = 6\ (1 + 0.036) = 6.2 \text{ T/day}$$

الزمن اللازم لتجميد الكتلة الجليدية يمكن أن نحدد تقريبا من علاقة بلانك التالية :

$$\tau = \frac{q_i + \rho_i}{t_i + t_c}\ \delta\ \left(R\ \frac{\delta}{\lambda_i} + P\ \frac{1}{\alpha}\right) \text{ , h}$$

إذ : q_i ـ كمية الحرارة المسحوبة عند تحول 1 kg من الماء ذي درجة الحرارة البدائية t_w إلى جليد بدرجة حرارة t_i .

$$q_i = C_w t_w + r_i - C_i \cdot t_i$$

$$q = 4.19 \cdot 12 + 335 + 2.095 \cdot 4 = 393.7 \text{ kj/kg}$$

t_a ـ درجة حرارة الوسط المبرّد ، في حالتنا هنا مولد تجايد ذو تبريد مباشر لذلك نعدّ درجة حرارة الوسط المبرد مساوية لدرجة حرارة تغليف : $t_a = t_0 = -10\ ^\circ C$ ، وعند درجة التجمد $t_i = 0\ ^\circ C$ فإن فرق درجات الحرارة : $t_f - t_a = 10\ ^\circ C$.

δ ـ سماكة الطبقة المنجمدة في جدار الحجرة وفق المسافة بين الجدار الخارجي للقناة ومحور الأنبوب المذكور آنفاً ، لأن هذه المسافة هي الأكثر ويتناسب في هذه الطبقة في كل ما يحيط بها ، وهي تشكل الشرط الأكثر خطراً (δ = 65 mm = 0,065 m) .

R , P ـ معدلا تدفق الحرارة المنجمدة وتدفع بسبب (فارق) الحرارة ، عند فارق الحرارة عبر الطبقة المنجمدة المطلوب (δ = 65 mm) وعرض b = 190 mm ، في ذات المسافة أيضاً :

$$R = 0,1009 \quad P = 0,3750 \quad \text{في المعدلين} \quad \beta = \frac{b}{\delta} = \frac{190}{65} = 3$$

(أكثر الحدود خطراً في جدار المسافة) .

λ_1 ـ معامل التوصيل الحراري للطين ($\lambda_1 = 2,21$ W/m. C) .

α ـ معامل انتقال الحرارة من سطح الطين إلى الوسط المحيط ، عند قيمة غير كبيرة لسرعة الرياح فإن معامل انتقال الحرارة عند الطين المجمد يمكن أن يؤخذ $\alpha = 581$ W/m. C

$$\tau = \frac{393,3 \cdot 917}{10} \cdot 0,065 \left(0,1009 \cdot \frac{0,065}{2,21} + 0,3750 \cdot \frac{1}{581} \right) = 2,45 \text{ h}$$

٥ ـ زمن التجميد الأولي الذي يلي تكون الجليد على الأنبوب وتشكل الطبقة المجمدة ، وهي تحجز جميعها خلال زمن τ_0 (ساعة) هذه الحرارة المتدفقة ($Q = 30 \div 70$) ، فإن زمن عمل الثلاجة المتقطع الواحدة يكون :

$$\tau = 2 \cdot \tau_0 = 2,45 \cdot 0,5 = 3 \text{ h}$$

٦ ـ عدد الأنابيب في مولد الجليد

$$n_\Phi = \frac{G'' \cdot \tau_0 \cdot 10^3}{\gamma \cdot q_b}$$

γ : γ ـ عدد ساعات عمل الأنبوب في اليوم ، وقد تمت تعمل على (ثلاث) ، أي أن $\gamma = 12$ h .

علماً :

$$\alpha = \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 10}{14 \cdot 28} = 53$$

نعتبر أن مؤثر الحمولة يقف من كل جانب مندفع في كل مقطع بـ 0,6 المسافة بين مركزي مقطعين متتاليين فيكون :

$$0,6 \cdot 9 = 5,4 \text{ m}$$

٧ ـ كتلة مقطع واحد للعارضة نفسها من :

أ ـ كتلة الجزء المتبقي من العارضة بعد الحفر :

$$0,006 \cdot 7800 \cdot 9 \cdot \left[0,60 \cdot 0,50 \cdot 0,30 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,30 \cdot 0,30 \right] = 381,5 \text{ kg}$$

ب ـ كتلة الجزء من الجائزة المحذوف (المحفور) :

$$2 \cdot 9 \cdot 0,30 \cdot \left[0,03 \cdot 2 \cdot 0,006 \right] \cdot 0,30 \cdot 0,006 \cdot 7800 = 200 \text{ kg}$$

جـ ـ كتلة الجزء من طرفي الجوائز :

$$2 \cdot 0,30 \cdot 0,30 \cdot 0,036 \cdot 0,30 \cdot 0,006 \cdot 7800 = 24,5 \text{ kg}$$

د ـ كتلة الصفيحتين المعدنيتين المثبتة للحذوف :

$$2 \cdot 9 \cdot 0,30 \cdot \left[0,03 \cdot 0,03 \cdot 0,03 \cdot 0,03 \cdot 2 \cdot 0,006 \right] \cdot 0,175 \cdot 0,175 \cdot 0,006 \cdot 7800 = 28,8 \text{ kg}$$

الكتلة الإجمالية للمقطع :

$$381,5 + 200 + 24,5 + 28,8 = 863,8 \text{ kg}$$

بإضافة ٣٠ % من الوزن للعناصر غير المحسوبة (مسامير ، صواميل ، قواطع ، مفارغ) نجد الوزن الكلي للمقطع كما يلي :

$$1,3 \cdot 863,8 = 1120 \text{ kg}$$

الكتلة الكلية لمؤثر الحمولة :

$$G = 6 \cdot 1120 = 6720 \text{ kg}$$

٨ ـ كمية الحرارة الكلية Q المنعطفة في الوحدة الزمنية إلى الوسط المحيط بالعارضة الحديدية المسلحة الضرورية لتأمين التخلص من كمية الحرارة المتولدة في الشغل بعد التصلب هي :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Q_1 ... أثر حراري من الماء على شكل كتلة ماء .

Q_2 ... أثر حراري من عنصر تسخين تعطيه المزاوة .

Q_3 ... أثر حراري عبر سطوح المزاوة إلى الوسط المحيط .

أثر حراري لكتلة الماء :

$$Q_1 = \frac{G''}{\tau} \cdot 10^3 \cdot q = \frac{6,2 \cdot 1000 \cdot 393,7}{14} = 18500\ W$$

أثر حراري من عنصر تسخين المزاوة :

$$Q_2 = \frac{Q_{2n}}{\tau} \cdot (\tau_2 - \tau_1)$$

Q_{2n} ... حرارة نوعية لعنصر تسخين المزاوة تساوي : (من الجدول الثاني)

$$Q_{2n} = 0,461\ kJ/K$$

τ_1 ... درجة حرارة لعنصر تسخين المزاوة في بداية فترة تشغيل المزاوة ، نعتبر :

$$\tau_1 = 20\ °C$$

$$Q_2 = \frac{3720}{3} \cdot 0,461 \cdot (120 - 20) = 4750\ W$$

شكل قوس يمكن حساب أثر حراري من أسطح المزاوة بمعدل

($\alpha = 20\ W/m^2K$) من Q_1 و Q_2 :

$$Q_3 = 0,05\ Q_1 = 0,05 \cdot 18500 = 2425\ W$$

يتألف في المزاوة الكهربائية لدينا :

$$Q = 18500 + 4750 + 2425 = 25675\ W$$

ن من هذه المزاوة الكهربائية يوجد فقدان في الحالة التي يمكن عدها تشكل حمولة مفيدة

حسب التعريف في المزاوة الكهربائية فإن جزء من الحرارة المنطلقة في المكان نفسه

يتم تحديد وقت ما من جميع المنافع في المزاوة الكهربائية Q' تعطى أثر

يجب أن يكون أكبر من Q

$$Q' = \frac{?}{?} \cdot (Q - Q_{2n}) + Q_3$$

$$Q' = \frac{3,0}{2,45}(-38500 - 47501) + 2425 = 67625\ W$$

٨- تحديد الحالة الحرارية للغطاء الأخير (الرابع جنيف):

$$s_4 = \frac{55675,14}{6000} = 470\ kJ/kg$$

$$s_4' = \frac{67625,14}{6000} = 470\ kJ/kg$$

قيم المعاملات للألواح غير محددة الطول

β	P	R	β	P	R
1,00	0,2500	0,0625	3,00	0,3750	0,1009
1,25	0,2778	0,0738	4,0	0,4000	0,1089
1,50	0,3000	0,0852	5,0	0,4167	0,1097
1,75	0,3182	0,0868	6,0	0,4286	0,1122
2,00	0,3333	0,0907	∞	0,5000	0,1284
2,50	0,0967	0,0967			

الفصل الثاني عشر

الجليد الجاف

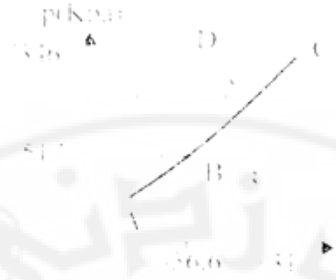
١ ـــ ١٢ ـــ مفاهيم عامة

الجليد الجاف أو ثاني أكسيد الكربون الصلب (CO_2) يُصعَّد عند الضغط الجوي ، أي ينتقل إلى الحالة الغازية دون مروره بالطور السائلي . بفضل هذه الخاصة يسمى ثاني أكسيد الكربون الصلب بالجليد الجاف . الوزن النوعي للجليد الجاف يتعلق بطريقة الحصول عليه ويشكل ($1,3 \div 1,6\ kg/m^3$) . عند ضغط 98 Kpa تكون درجة حرارة الجليد الجاف (- 78,9 °C) ، والحرارة اللازمة لتبخيره بشكل كامل (الحرارة الكامنة للتصعيد) – 561 kj/kg .

إن استخدام الجليد الجاف وسيطاً للتبريد يعطي فعالية أكثر من جليد الماء . الإنتاجية التبريدية الكلية لـ 1 kg من الجليد الجاف مع الأخذ بالحسبان استخدام برودة الأبخرة التي تتشكل عند التصعيد وتسخينها حتى 0 °C تشكل 665 kj/kg . أي أنها أكبر بمعدل 1,9 مرة من الإنتاجية التبريدية لـ 1 kg من جليد الماء . في مزيج الجليد الجاف مع الأثير يمكن الحصول على درجة حرارة - 100 °C ، وعند تشكيل خلخلة تكون درجة الحرارة أقل بكثير .

مخطط الحالات الطورية لثاني أكسيد الكربون موضح على الشكل (١ – ١٢) . المنطقة ١ على المخطط تعدّ منطقة الطور الصلب ، والمنطقة ٢ تعتبر منطقة الطور السائل ، أما المنطقة ٣ تعدّ منطقة الطور الغازي (غاز محمص) . الخطوط الحدية بين هذه المناطق الثلاثة هي عبارة عن مجمل النقاط التي يمكن أن يكون فيها طورين من الثلاثة بحالة توازن ترموديناميكي :

المادة الصلبة والبخار (المنحنى AB) ، السائل والبخار (المنحنى BC) أو السائل والمادة الصلبة (المنحنى BD) .



شكل ( ) : مخطط الطور لثنائي كبريت الكربون

: نقطة الثلاثي لكبريت الكربون

: نقطة الغليان

: نقطة الانصهار

لنأخذ المنحني AB يمثل ضغط البخار المشبع لثنائي كبريت الكربون السائل بتدرج درجة الحرارة ابتداء من الضغط الذي يوافق درجة حرارة الغليان ($56,0\ ^\circ C$) و ينتهي عند الضغط الذي يوافق درجة حرارة الانصهار ($-112,1\ ^\circ C$) يمكن أن نرى أن كبريت الكربون في الطور السائل يتغير بتغير الضغط. نلاحظ في هذه الحالة أن الضغط المطبق يمكن أن يسبب تكثف كبريت الكربون بدرجة حرارة أعلى من درجة الغليان.

المنحنى BC يمثل ضغط البخار المشبع الذي يسمح بتواجد كبريت الكربون السائل والصلب في حالة توازن (عند درجة حرارة أخفض من درجة حرارة الانصهار) إنه يمثل تغيرات الضغط بدلالة درجة الحرارة ($P_{atm} = 0,346\ Kpa$ و $T = -112,1\ ^\circ C$). المنحنى BD يمثل ضغط البخار المشبع لثنائي كبريت الكربون.

في النقطة B يتوضع منحنى تحولات كبريت الكربون الثلاثة الذي كبريت الكربون عند هذه النقطة مع الكبريت الثلاثي في حالة توازن ترمى بالمكرر، و من أجل هذه النقطة المسماة النقطة الثلاثية هي الضغط $P = 51,7\ Kpa$ و درجة الحرارة $T = 56,0\ ^\circ C$

عند ضغط أقل من $70,2\ Kpa$ مع عدم وجود بخار يتحول ثنائي كبريت الصلب الى الطور السائل. و من الطور السائل يتحول الى الطور الغازي عند الضغوط التي تقل عن $51,7\ Kpa$ لا يعد هناك وجود للطور السائل.

معلومات عن الخواص الترموديناميكية لثاني أكسيد الكربون مثل الأنتالبي أو الأنتروبي و الحجم النوعي في المخطط P – i أو T – s ، وتكثر من هذين المخططين لإعطاء الحالة على أساس كميات الأنتالبي في النقطة الثلاثية ويمكن الإعطاء مكمية الحساب الأنتالبي و الأنتروبي للمزيج ثنائي الأطوار .

في هذه الحالة نحتاج إلى حسابات إضافية ، وهذه الحالة تعني مزيج ثنائي الأطوار ونستخدم المعادلتين :

$$i_x = i'(1 - x) + i''x$$

$$s_x = s'(1 - x) + s''x$$

i' ، i'' ، x – أنتالبي الأطوار ، السائل و البخار ، الجزء الكتلي البخاري .

٧,١,٨ – الخصائص الفيزيائية للجليد .

الكثافة الحجمية للـ (kg/m³) من ثاني أكسيد الكربون الصلب تتعلق بطريقة تشكيل كتلة الكربون المتشكل ، والتي يحدث ضغطها ودرجة حرارة الوسط المحيط ، تصل إلى كثافة الكربون الصلب .

حرارة التصعيد (التسامي) لثاني أكسيد الكربون في النقطة الثلاثية تساوي الفرق بين أنتالبي ثاني أكسيد الكربون الغازي والصلب عند ضغط 517 Kpa ، قيمة حرارة التصعيد في النقطة الثلاثية تشكل 195.7 kj/kg .

عند ضغوط أعلى من 517 Kpa ودرجة حرارة أعلى من C° 56.6- فإن حرارة التصعيد عندئذ تختلف قليلاً عن حرارة التصعيد في النقطة الثلاثية .

الحرارة النوعية لثاني أكسيد الكربون الصلب مقدرة بـ (kj/kg C) في مجال درجة الحرارة من C° 57- حتى C° 110- تحدد بالمعادلة :

$$C = 1.67 + 0.0118\,T + 0.0000523\,t$$

الموصلية الحرارية لثاني أكسيد الكربون الصلب عند كثافة 1.4 kg/Dm³ تشكل 0.384 w/mk .

نحصل على الجليد الجاف نتيجة طرح الحرارة من سائل ثاني أكسيد الكربون .

من حيث منشأ المواد الخام فان ورشات الحصول على الجليد الجاف وثاني أكسيد الكربون المصنع تقسم الى مجموعتين :

المجموعة A والتي تعمل على أساس استخدام الغازات المطروحة في المصانع الكيميائية ، مصانع المعالجة البترولية ، مصانع صنع الصابون ومصانع الهيدروليز (التحليل بالماء) والاخمول .

والمجموعة B التي تعمل على أساس الحرق الخاص للوقود .

إن افضل مواد خام لمصانع الجليد الجاف هي ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تخمّر الكحول .

٢ ــ ١٢ ــ المخططات التكنولوجية لإنتاج الجليد الجاف

إن طرح الحرارة من سائل ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يجري بإحدى الطريقتين التاليتين :

أ ــ الطرح الخارجي للحرارة : طرح الحرارة من سائل ثاني كسيد الكربون الواقع تحت الضغط عبر جدار الوعاء عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة النقطة الثلاثية ، تكثيف بخار ثاني أكسيد الكربون المتشكل بشكل مباشر من الخليط الغازي الذي يحوي على غاز ثاني أكسيد الكربون مع ما يليه من طرح الحرارة عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة النقطة الثلاثية .

ب ــ الطرح الداخلي للحرارة : تبخير سائل ثاني أكسيد الكربون مع طرح البخار من سطحه ، خنق سائل ثاني اكسيد الكربون حتى ضغط النقطة الثلاثية مع كبس الثلج المتكون ، تمدد سائل ثاني أكسيد الكربون مع الحصول على عمل خارجي ، تبخير سائل ثاني أكسيد الكربون عند ضغط (882 Kpa ÷ 686) مع تصعيد جزئي لثاني أكسيد الكربون الصلب المتشكل وطرح البخار عبر مسالك .

إن الطريقة التي لاقت استخداما في الحياة العملية هي طريقة الطرح الحراري الداخلي عند خلق مائل ثاني اكسيد الكربون مع كبس الثلج الحاصل في مكابس جليد جاف خاصة وطرح الأبخرة المتكثفة عبر مسامات كتلة الجليد الجاف في مولدات الجليد .

إن تخفيض ضغط مائل ثاني أكسيد الكربون من ضغط التكثف حتى ضغط النقطة الثلاثية يمكن أن يجري عند تحقق مرة واحدة (دورة بسيطة) أو عند تحقق المراحل (دورة مع طرح بيني للبخار) . عند ذلك فإن ضغط التكثف يمكن أن يأخذ القيم التالية :

٢٣١٠ ÷ ٦٨٦٠ Kpa (دورة مرتفعة الضغط) .

١٥٦٨ ÷ ١٩٦٠ Kpa (دورة متوسطة الضغط) .

٧٣٦ ÷ ٨٨٠ Kpa (دورة منخفضة الضغط) .

المخططات التكنولوجية للجليد الجاف ترتكز غالبا على استخدام دورة الضغط المتوسط مع الطرح البيني للبخار .

مخططات الضغط المتوسط مع الطرح البيني للبخار والأكثر ملائمة ترموديناميكيا لا تزال تلاقي استخداماً محدوداً جداً بسبب صعوبة اختيار ضواغط ثاني أكسيد الكربون والأمونيا ذات المواصفات اللازمة .

إن المخططات ذات الدورة البسيطة والضغط المنخفض تتطلب استخدام آلات تبريد ذات درجات حرارة منخفضة ، بمرحلتي انضغاط مما يعقد شروط الاستثمار . وهذا ما يجعل استخدامها في الوقت الحاضر غير مناسب .

يتم الحصول على كتل الجليد الجاف إما في مكابس الجليد الجاف ، أو في مولدات الجليد ولا يتعلق ذلك بالمخطط التكنولوجي المستخدم .

٣ ـ ١٢ ـ مخطط إنتاج الجليد الجاف بالدورة المرتفعة الضغط

غاز ثاني أكسيد الكربون والأبخرة الممتصة من مولدات الجليد (امتصاص سفلي) تدخل إلى جهة سحب ضاغط ثاني أكسيد الكربون ١ (الشكل٢ـ١٢) .



Damascus University

الغاز المضغوط بمضخة ذات وحدة انتقالية وتجفيف ٤ ويدخل إلى المكثف ٥ سائل ثاني أكسيد الكربون بعد عبوره بالزنات التقليم ٦ والتي تعمل كحيز بيني للضغط العالي يخنق حتى ضغط (٢٤٥٢ ÷ ٢٧٤٤ kpa).

الأبخرة الحاصلة عند الخنق تمتص بوساطة المرحلة الثالثة للضواغط ، أما السائل يتجمع في الوعاء البيني الأول ٧ ومنه يخنق حتى ضغط (٩٨٠ ÷ ٧٣٦ Kpa) ليتجه إلى الوعاء البيني الثاني ٨ . الأبخرة تسحب بمرحلة الانضغاط الثانية أما ثاني أكسيد الكربون السائل يتجه من الوعاء إلى مولدات الجليد ٩ (على المخطط بين شرطيا مولد واحد) التي تعمل بالتناوب .

مولدات الجليد تملأ بسائل ثاني اكسيد الكربون بالسيلان الذاتي وفي هذه الحالة يكون سكر خط السوية (الامتصاص العلوي) مفتوحاً والتضييقات (ثقوب الخنق) مغلقة (الامتصاص السفلي) . بعد الملء يتم فتح إحدى تضييقات الامتصاص السفلي مما يؤمن خنق السائل حتى ضغط السحب .

عند ضغط النقطة الثلاثية يتحول السائل إلى جايد جاف .

أجزاء تشكل الجليد يتأثر في جوف مولد الجليد من الأسفل إلى الأعلى بسطوح مركزة . عند ذلك تقوم كتلة الجليد بدور الخنق .

بناء جزء تشكل الجليد ينخفض الضغط داخل مولد الجليد حتى ضغط سحب المرحلة الأولى للضاغط .

٤ ـ ١٢ ـ مخطط إنتاج الجليد الجاف بطريقة الكبس في دورة الضغط العالي

الناتج الحاصل عند خنق سائل ثاني أكسيد الكربون حتى ضغط أقل من ضغط النقطة الثلاثية يتحول إلى كتل من الجليد الجاف بنتيجة ضغطه (كبسه) .

كثافة النوعية للجلد الجاف تتعلق بالضغط وعملية الانضغاط (التكبس) وكذلك بشكل الكتلة وتشكل عمليا (1.4 ÷ 1.6 kg/Dm^3)

عند الحصول على الجلد الجاف بطريقة الكبس في مكابس الجلود الجاف الخاصة يكون ضغط كبس كتلة الفحم المنشط أكبر منه في معدات الجلد .

غاز ثاني أكسيد الكربون والأبخرة الناتجة من المكبس (سحب سفلي) تتوجه إلى جهة سحب المضاغط الإساسي وتضغط فيه حتى ضغط التكاثف . مخطط تجميع الغاز المضغوط بالمضاغط الاساسي يشابه المخطط الممثل على الشكل (٢ ـ ١٧) .

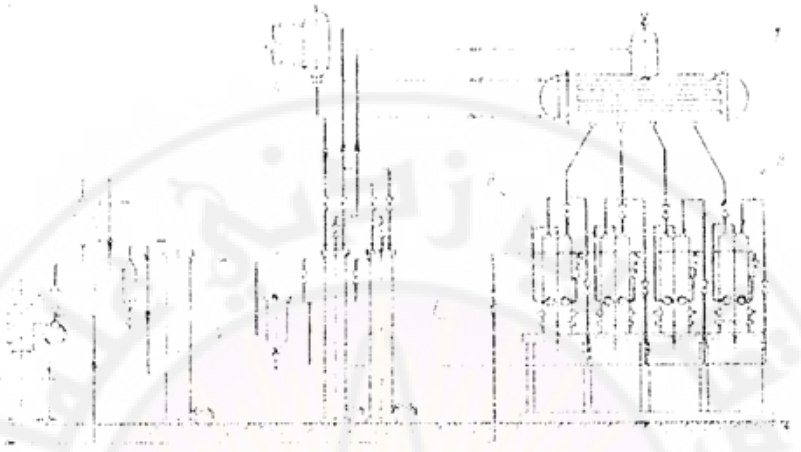
سائل ثاني أكسيد الكربون يتجه إلى بالون التخليم ومنه بعد مروره عبر مبادلات حرارية مخصصة لاسترجاع برودة الأبخرة الناتجة من الوعاء البيني الثاني وأبخرة مكبس التجليد الجاف يخنق حتى ضغط (٢٩٤٠ ÷ ٢٤٥٠ Kpa) متجها إلى الوعاء البيني الأول .

الأبخرة الحاصلة عند الخنق تسحب بواسطة مرحلة الانضغاط الثالثة للمضاغط الثانوي ، أما سائل ثاني أكسيد الكربون يخنق حتى ضغط (1470 ÷ 980 Kpa) متجها إلى الوعاء البيني الثاني ، الأبخرة المتشكلة عند الخنق تسحب عبر المبادل الحراري بواسطة مرحلة الثانية للمضاغط الثانوي . أما سائل ثاني أكسيد الكربون يمر عبر خزان التيامل الذي يؤمن ملء المكبس بكمية السائل اللازمة ، ثم يخنق متجها إلى الحجرات الثلجية لمكابس الجلد الجاف حتى ضغط مساو لضغط النقطة الثلاثية 517 Kpa .

الأبخرة الحاصلة عند الخنق تسحب عبر المبادلات الحرارية للمرحلة الأولى للمضاغط الثانوي (سحب علوي) .

إجراء ملء الحجرة الثلجية يستمر حوالي ٦ دقائق ، وبعد ذلك يغلق صمام التنظيم ويستمر السحب العلوي بالعمل ليصل الضغط في الحجرة إلى (٤٤٠ ÷ ٣٩٢ Kpa) .

بعد ذلك يغلق السحب العلوي ويفتح السحب السفلي الذي يؤمن انخفاض الضغط في الحجرة حتى (١٥٧ ÷ ١٤٧ Kpa) . بالوصول إلى قيمة الضغط المطلوبة يضغط تنح ثاني أكسيد الكربون المتجمع في حجرة المكبس وبالتالي نحصل على كتلة متراصة من الجلد الجاف بكثافة نوعية حتى (1.6 kg/Dm^3) .



Damascus University

الفصل الثالث عشر

أجهزة التبريد التكنولوجية

١ ـ ١٣ ـ تصنيف معدات التبريد التكنولوجية

معدات التبريد التكنولوجية مخصصة لتأمين وتثبيت درجة الحرارة، الرطوبة ، سرعة جريان الوسط المبرد وأحياناً الضغط وتركيب غازي معدة في الحجوم المبردة . ان تعقد المسائل وحلها عند الإنتاج وحفظ المنتجات الغذائية السريعة العطب ، واختلاف المنتجات من حيث الحجم والشكل والخواص الميكانيكية والفيزيائية وغيرها ، يتطلب خلق حجوم مختلفة بالمقاييس والمهام مزودة بتجهيزات تبريد تكنولوجية متنوعة من حيث التصميم وطريقة طرح الحرارة من المنتج ، ونوع الوسط المبرد ، وأحياناً من حيث التجهيزات التخلخلية ، وتجهيزات توليد الغاز والتجهيزات الاستصاصية ، وايضا من حيث وسائط مكننة وأتمتة عمليات شحن ونقل وتفريغ المنتجات .

تميز ثلاثة أنواع من الحجوم التبريدية :

١ ـ الغرفة ٢ ـ النفق ٣ ـ الجهاز

جهاز التبريد مخصص لمعالجة التبريدية للمنتجات الغذائية ذات السعاكة غير الكبيرة . يختلف الجهاز عن الغرفة والنفق بأن جميع عناصره مربوطة بمتانة في وحدة واحدة ، الأجهزة تستجيب بدرجة عالية للمتطلبات الإنتاجية والتكنولوجية المتقدمة ، إذ إنها تتجز المعالجة التبريدية للمنتجات بسرعة ، بشكل مستمر ، في نظام آلي وفقدان أصغري بوزن المنتجات .

في الصناعة تستخدم أنواع مختلفة من الأجهزة ، تختلف عن بعضها بطرق طرح الحرارة من المنتجات ، بالوسط الذي يتلقى الحرارة مباشرة من المنتج (الهواء ، ثاني أكسيد الكربون ، غليان السوائل والسوائل غير المرسلة للغليان) ، وبنوع وحدة نقل المنتج في اجراء المعالجة التبريدية (ناقل ميكانيكي ، تيار هوائي) وغيرها .

تستخدم الأجهزة التبريدية بشكل أساسي من أجل تجميد المنتجات وتلك يطلق عليها اسم المجمدات .

إن أجهزة التبادل الحراري التي تثبت بمرات الهواء في مجالات محددة (درجة الحرارة ، الرطوبة ، سرعة جريان الهواء وغيرها) عند المعالجة التبريدية وتخزين المنتجات تنتمي إلى التكييف الكلوجي . إن تعليب المنتجات الغذائية بطريقة التصعيد تتجز بمساعدة محطات التصعيد .

٢ ـ ١٣ ـ أجهزة التجميد الهوائية :

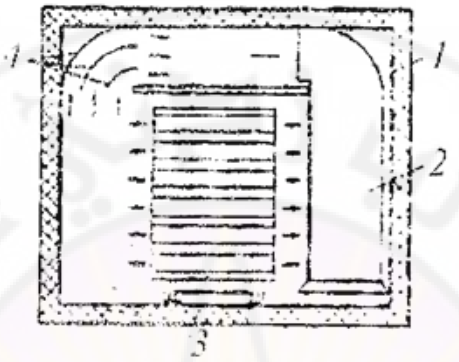
إن أجهزة التجميد الهوائية التي يتم فيها امتصاص الحرارة بواسطة الهواء ونقلها إلى سطح أجهزة التبريد ، هي أول الأجهزة ظهوراً والأكثر انتشاراً . إن الهواء وسط طبيعي وخامل بدرجة كافية . يمكن استخدامه من أجل المعالجة التبريدية لجميع المنتجات الغذائية في مجال واسع لدرجة الحرارة ، وسرعة الحركة والضغط .

الجهاز النفقي عبارة عن وحدة تتألف من جدران معزولة حرارياً تتوضع بداخلها المبخرات (مبردات الهواء) ، وأنظمة تغذية الهواء ، وأنظمة نقل المنتج ، وأنظمة التحكم والتنظيم الآلي .

تتكون جدران الجهاز المعزولة حرارياً من ألواح تحوي طبقة من مادة عازلة حرارياً بسماكة (١٢٠ mm ـ ٨٠) ، تلبس خارجي وداخلي من رقائق معدنية (الألمنيوم ، الفولاذ المغلفن) أو من البلاستيك . إن هذا التغليف يكسب الألواح الصلابة والمتانة ويعد عازلاً للرطوبة ، يحمي المادة العازلة من الأضرار الميكانيكية .

يصنع المبخر من أنابيب مرشدة بخطوة متغيرة من (٣٠mm ـ ٢٠) حتى (١٥mm ـ ١٠). إن مثل هذا التصنيع للمبخر ينجم عن كون المنتج في إجراء المعالجة التبريدية يفقد رطوبة كبيرة تترسب بشكل ندى (ثلج) على سطح المبخر ، وإن الندى يتساقط بشكل غير متجانس

تنظيم حركة الهواء التصاعدية ، يسحب الهواء من المجرى بالمروحة ويمر عبر بطاريات الهواء ، وبعد ذلك يوجه إلى المنتجات ومن ثم يدخل إلى المجرى .



الشكل (٤ — ١٣) : جهاز غرفة

١ : خازن عازل حراري ٢ : [illegible]

٣ : عربة ٤ : [illegible]

يوضع المنتج (لحم ، سمك ، طيور ، خضار) على صوان معدنية مع الحفاظ على فراغ ضروري لحركة ودوران الهواء وتركب هذه الصواني على عربة . العربة تتحرك يدويا أو بواسطة ناقل على سكة حديدية وتدخل إلى الجهاز عبر مدخل الشحن وفي الوقت نفسه تدفع عربة أخرى محملة بالمنتجات قد تم تجميدها . تؤخذ المنتجات المجمدة من العربة وتخلف عند الضرورة وتوجه إلى التخزين .

بعض المنتجات غير المغلفة (لحم ، سمك) تلتصق بالصواني متجمدة عليها ، وفي هذه الحالة تسخن الصواني بإحاطتها بعض الوقت بماء ساخن أو برشها بالماء ، وبعد المعالجة الصحية للصواني تساق مع العربة وتعاد من أجل الشحن .

٤ — ١٣ — أجهزة التجميد ذات الأحزمة الناقلة :

لتجميد كمية كبيرة نسبيا من منتجات ذات أشكال وحجوم متقاربة . تستخدم الأجهزة التي يتم فيها نقل المنتج بواسطة أحزمة ناقلة مختلفة الأنواع : السلسلية ، ذات الصواني ، البلاستيكية ، الشريطية مع قيادة كهربائية أو هيدروليكية ، والتي تعمل بشكل دائم أو دوري . إن هذه الأجهزة بالمقارنة مع الأجهزة ذات العربات تمتلك انتاجية كبيرة ومستوى أكبر من مكننة وأتمتة العمليات .

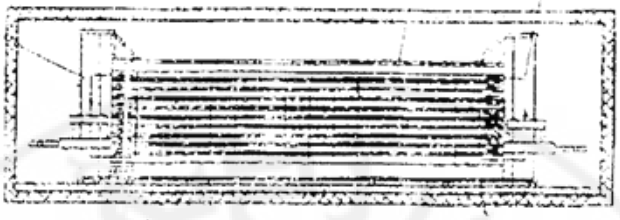
تجهز هذه الأجهزة بناقل متحرك دوري (الشكل ٢ ـ ١٣) ، والمخصص لتجميد المنتجات ذات القطع الكبيرة (اللحم ، السمك ، الطيور ، الأطعمة الجاهزة) بشكل مغلف (علب كرتونية ، قوالب كتلية) ويمكن أن تعمل بنظام آلي .

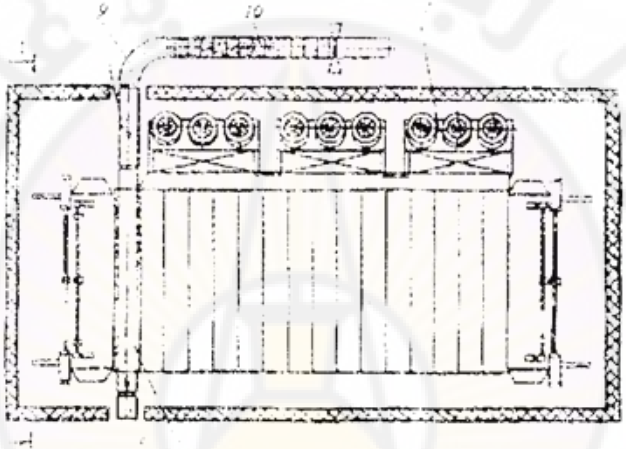
توجد المنتجات في أقفاص (الطول العام لها 4,7 m) . الجدران الجانبية لها مصنوعة من صفائح الألمنيوم ، أما القعر مصنوع من شبك فولاذي مغلفن . الأقفاص تتوضع على رفوف توجيه أفقية موجودة في الحجم المبرّد .

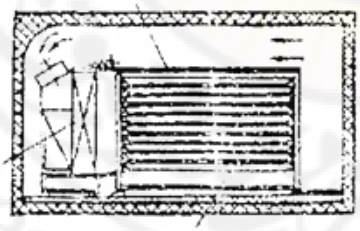
الجهاز يحوي عددا كبيرا من الميكانيزمات من أجل الإزاحة الأفقية والعمودية للأقفاص ، يتم عمل هذه الميكانيزمات آلياً وفق برنامج معطى سابقاً .

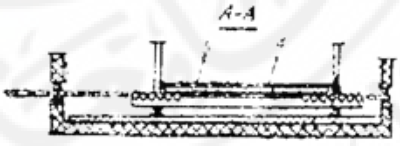
مبردات الهواء مصنعة من انابيب فولاذية مطلية بالألمنيوم مع ريش من الألمنيوم . تتوضع على طول الرفوف . الأقفاص المتوضعة على الرفوف تشكل أقنية لحركة الهواء ، وهذا يضمن مصاريف أصغرية من الطاقة الكهربائية لقيادة المراوح .

فترة تجميد اللحم بشكل قوالب كتلية بسماكة 60 mm تشكل (٥ ـ ٦) ساعات . أما تجميد في علب كرتونية بسماكة 150 mm يستغرق (١٦ ـ ٢٠) ساعة ، وإنتاجية الجهاز تشكل بالتالي ٧ و ٣ طن بالساعة الأبعاد الخارجية ٥,٥ × ٩ × ٢٠ m .








A-A

ن استخدام ناقل متحرك لتوزيع يسمح بتقسيم الجهاز بعدد قليل نسبيا من رمى حساسة ومتشابهة ، حيث يعتمد وجود العناصر ذات الحركة الدائمة ، ذلك يعد تقسيما لحساسة للقياس .

الأجهزة الهوائية ذات الناقل الذي له حركة دائرية لمنطقة (تشريطي القياس الخارجي ، الداخلي) مستمرة بشكل واسع ، إنها تسمح بحصد المنتج من الشكل المختلف ، بدءا من منطقة غير مغلف وبشكل مستمر وفي نفس الن .

في الأجهزة ذات الناقل التشريطي الثابت (الشكل ٣ ـ ١٣) يتم نتيج عبر نافذة التحميل إلى الناقل التشريطي العلوي المتحرك ، عبر منطقة التجفيف مرا على فاصل الحصير ، وعبر مرتب يقل إلى الناقل المتوسط ، عندئذ يسوق المنتج إلى الناقل السفلي ، ومن ثم يخرج محمصا عبر نافذة التفريغ .

لكل من هذه النواقل قيادة مستقلة ، لذلك في حالة الإقلاع بشكل ، نجد في محمص واسع ، ذلك يتم تأمين تحميل المنتجات بسرعات مختلفة .

توضع مبردات الهواء على فاصل النواقل ، وذلك من حركة عرضية تتوزع بها ، الأكثر برودة يوجه إلى الناقل السفلي حيث توضع المنتجات ذات الحرارة الأخفض ، وبعد ذلك يمر عبر النواقل المتبقية ومن ثم يسحب بالمروحة .

توجد في الجهاز نوعين لحركة الهواء :

ـ حركة طولية في منطقة سحن المنتج .

ـ حركة عرضية في الحجم المشغل للجهاز .

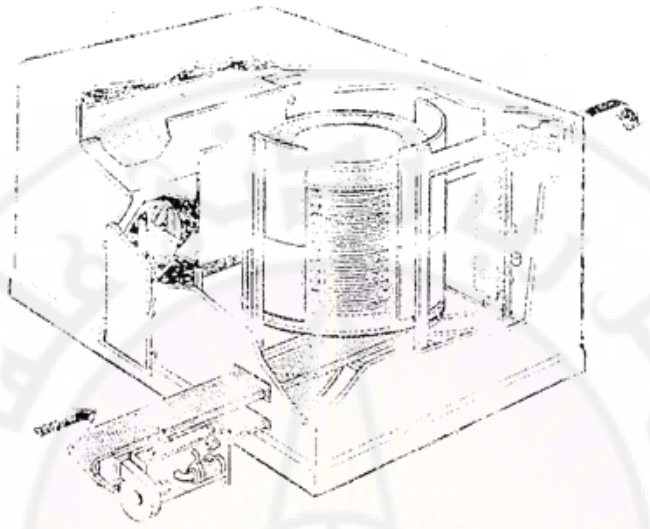
تتراوح سرعة الهواء المار عبر المنتج بين قيود المنتج بدءا حتى نهاية على الطبقة السفلية ، مثلا المنتج المشغل ، وذلك في هذه المنطقة يعبر سرب حرارة الهواء عبر نافذة التحميل .

تتجه الجهاز عند تحميل الأسماك المغلفة بشكل ١٠ في دقيقة ، المقاييس الحرجية

٤,٣ m ، ٤,١ ، ١١



Damascus University

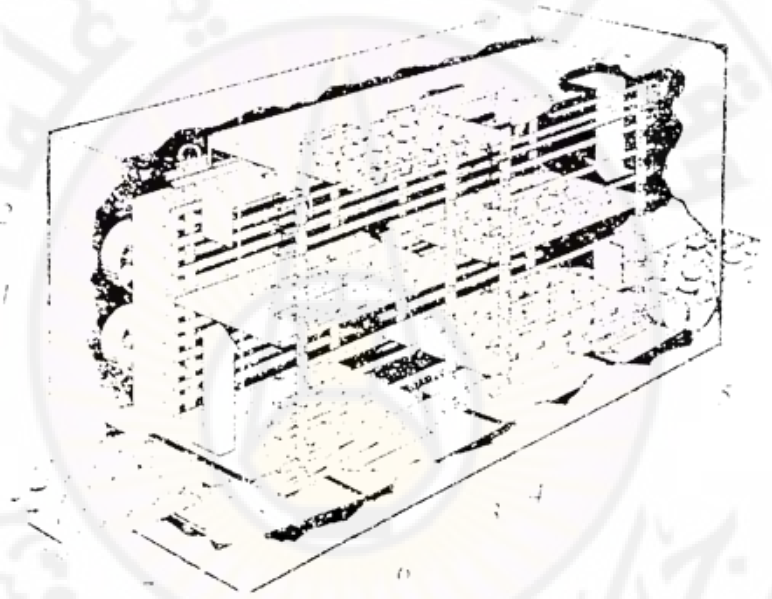


الشكل (٤ ــ ١٣) : جهاز ذو ناقل حازوني شريطي.

١ : غلاف ناقل حازوني ٢ : مدخل هواء

٣ : طبل ٤ : وحدة معالجة صحية للشريط الناقل

انتاجية الجهاز المزود بشريط ذو عرض 0,9 m تشكل عند تجميد قطع اللحم بسمك ٢,٥ طن بالساعة ، وعند تجميد قطع السمك ٣,٥ طن بالساعة، وعند تجميد الأطعمة الجاهزة ٢,٢ طن بالساعة . وزمن التجميد يشكل على التوالي ٢٢ ، ١٧ و ١٣٠ دقيقة . الأبعاد الخارجية للجهاز 10,7x7,8x4,5m : على الشكل (٤ ــ ١٣) نرى جهاز يحوي ثلاثة نواقل ، تأمن لنقل المنتجات بشكل عمودي واخر أفقي من أجل الشحن والتفريغ . يتوضع المنتج يدويا أو آليا على صفائح من الفولاذ الغير قابل للصدأ وتؤخذ هذه الصفائح بواسطة دوافع الناقل الأفقي السريعة التأثير وتسلم للجهاز . ناقل الجهاز ذو الحركة المستمرة يأخذ الصفائح من الأطراف الجانبية وينقلها الى الأعلى . في الوضع النهائي العلوي تتحول الصفائح آليا إلى الناقل المشابه ولكنه ينقل الصفائح للأسفل . بالوصول إلى الوضع السفلي تؤخذ الصفائح مع المنتجات



٥ ــ ١٣ ــ أجهزة التبريد التلامسية :

لتجفيف السطح المبلل بالماء . وتتجه تلك الغازات الحارة المشبعة بالبخار المتصاعد من السطح المبلل إلى الارتفاع درجة حرارة السطح .

تتعدد التي تقوم بها المجفف السطح بالتعاون بشكل كبير في الحالة :

١ ــ تجفيف السطح .

٢ ــ تجفيف سطح المجفف بالتوازي بين الماء والسطح .

٣ ــ درجة الحرارة المنخفضة للمجفف وسيط التجفيف (٥٠ ــ ٦٠ م) .

يمكن أن يجفف السطح في المجفف الواحد من جهة واحدة أو من جهتين بسطح صفيح المجفف والتجفيف الثاني . هذا بالإضافة إلى التمييز بين الأجهزة اللوحية ، الفيلمية ، والتجفيف .

٦ ــ ١٣ ــ الأجهزة اللوحية (الصفيحية)

يتركب المجفف من الألواح المسطحة المجوفة الحارة بشكل مناسب ، إما في عملية التجفيف الحراري بمرور الجلد بين السطح والألواح .

الألواح يمكن أن توضع بشكل أفقي أو عمودي أو بتصميم أفقي على محور دائري .

في حالة عملية التجفيف والتجفيف في الأجهزة ذات الألواح الأفقية يصعب منها في الأجهزة اللوحية الأخرى . لذلك تكون ذات تأثير متواضع . المجفف ذو الألواح الأفقية المتوازي المستطيل المخصص لتجفيف المنتجات به في تلك الحالة يتكون ذات ارتفاع (١٥ ــ ١٥) متر (الشكل ٦ ــ ١٣) يتألف من قفص حامل ، حاجز عازل حراري مع مصراع للباب . توضع بداخل الوحدة من سيكة الأعلى ، تتحرك بشكل محدد بمساعدة قضبان قيادة دليلية . توضع المنتج بشكل كلي في غرفة الارتفاع وحدات الألواح . الفاصل يتأخر حتى المنتج قرب الألواح المجاورة في مسافة تساوي ارتفاع قرص التجفيف ، ويكون في بقية من الارتفاع الكامل للمنتج . يحمل السطح قبل المسافة بين الألواح . يغلق مصراع باب المجفف ويشغل هذه الغرفة ، وإذا كانت حرارة التجفيف تفصل هذه الغرفة ، يفتح مصراع الباب ، تزاح الألواح وينقل المنتج .

يوقف الجهاز مرة في الأسبوع تقريباً لإزالة الثلج عن سطح التبخير . مدة التجميد عندما تكون درجة الحرارة المحيطة بسطح التبريد (-10 C) تشكل ٥٠ دقيقة لكل سم من السماكة المرغوبة (25 mm) معلبة بغطاء بلاستيكي ، تشكل ٢٥ دقيقة لكل سم من سماكة مغلف بغطاء كرتوني مع غطاء بلاستيكي .

أبعاد الجهاز الخارجية التجريبي 2.62 X 2.01 X 2.35 m



شكل (٧ ــ ١٣) : جهاز نوعي

١ ــ حجرة عزل حراري ٢ ــ [illegible]

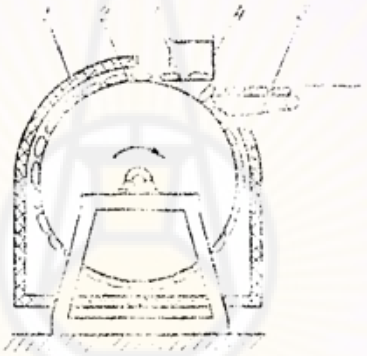
٣ ــ [illegible] ٤ ــ [illegible]

٧ ــ ١٣ ــ الأجهزة الطبلية :

تجمد المنتجات تحت الصفر المئوي وذات السطح المرتفع ، تستخدم الأجهزة الطبلية ، التي يتم فيها تجميد المنتج على سطح معدني بارد . الجهاز الموضح على الشكل (٧ ــ ١٣) ، يحتوي على حاجز عزل حراري ، فتحة جانبية من الأمام عبر قفل للتعامل مع قطع الثلج

وسيط التبريد ، سكين لإزالة المنتج ، قيادة كهربائية ، وناقل شحن وتفريغ . يسلم المنتج بواسطة ناقل الشحن إلى الجهاز ، وهناك يسقط على سطح الطبل الدوار ويضغط عليه بشريط الناقل ويبدأ التجمد .

باكتمال دورة الطبل يتجمد المنتج ويزال بالسكين في النقطة العليا ويدخل إلى ناقل التفريغ . يمكن تغيير سرعة دوران الاسطوانة (الدورة الواحدة من ٥ إلى ٢٠ دقيقة) وذلك يتعلق بشكل وسماكة المنتج المجمد ، ويشكل عام تتراوح إنتاجية الجهاز في الحدود من ٢٥٠ إلى ٧٥٠ كغ بالساعة .



الشكل (٧ ــ ١٣) جهاز طبلي

١ ــ حجيرة عزل حراري ، ٢ ــ طبل دوار

٣ ــ سكين ، ٤ ــ تفريغ ، ٥ ــ ناقل شحن .

٨ ــ ١٣ ــ الأجهزة الشريطية :

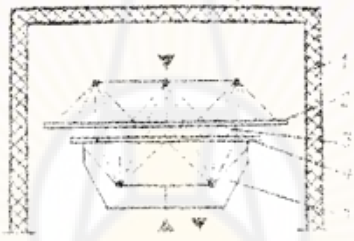
في الأجهزة الشريطية يجري تجميد المنتج على شريط ناقل ناعم من الفولاذ غير القابل للصدأ خلال فترة عبوره الجزء المبرد والمعزول حراريا من الجهاز . تحت الشريط في الجزء المبرد تتوضع حجرة معدة بوسيط تبريد ثانوي بحيث تدفئ بحيث يعوم شريط الناقل على سطح الوسيط . يتم ملء هذه الحجوم بالتغذية المستمرة لوسيط التبريد الثانوي المبرد

بوساطة المبخر ، بخاخات التغذية تتوضع تحت مستوى السائل ، ولذلك يُخلط وسيط التبريد الثانوي ، وبنتيجة ذلك يحصل ثبات بدرجة حرارته .

مدة تجميد فيليه السمك بسماكة 13 mm تشكل ١٠ دقائق .

إن بعض أنواع هذه الأجهزة مزودة بمبردات هواء تضخ الهواء إلى المنتج على الشريط . بالنتيجة فإن إنتاجية الجهاز تزداد تقريباً بمعدل ٢٥ % .

توجد أجهزة يتم فيها تجميد المنتج عند تلامسه بشريطين ناقلين (الشكل ٨ ــ ١٣) . إنتاجية الجهاز عند الطرح الحراري الثنائي الجانب من المنتج أكبر بمعدل ٢ إلى ٣ مرات منه عند الطرح الحراري الوحيد الجانب (من جهة واحدة) ، وعند الشروط نفسها.



الشكل (٨ ــ ١٣) : مخطط تجميد المنتج عند التلامس بشريطين فولاذيين.

١ ــ حاجز عزل حراري . ٢ ــ شريط الناقل العلوي .

٣ ــ المنتج . ٤ ــ شريط الناقل السفلي .

٥ ــ حيز وسيط التبريد الثانوي .

٩ ــ ١٣ ــ الأجهزة التغطيسية :

تسمى الأجهزة التي يتم فيها تجميد المنتجات بتغطيسها في السائل (وسيط تبريد ثانوي) بالأجهزة التغطيسية .

تجميد المنتجات في وسيط التبريد الثانوي يتصف بشدة طرح حراري أكبر مما هو عليه في السطح المعدني . إلا أن ظهور الصعوبات المتعلقة بتسرب (نفوذ) وسيط التبريد الثانوي إلى

منتج ، مراعاة الشروط المصدرية مع الحفاظ على تركيز وسيط التبريد الثانوي ، وتعتبر السوائل المبردة غير الطبيعية والمأمونة من أهم طرق استخدام هذه الطريقة .

بظهور مواد التغليف البلاستيكية والمقاومة للتآكل بوسائل وسيط التبريد الثانوي اتسع استخدام التجميد التلامسي في الأوساط السائلة .

في وسائط التبريد الثانوية تجمد عادة المنتجات بسهولة المسحوقة وذات الأشكال الانسيابية (السمك ، قطر الثمار الكبيرة) وتكون مغلفة بطبقة متصلة سطح المنتج .

يتم اختيار وسائل التبريد الثانوية التي تسمح القواعد الصحية باستخدامها والتي تلبي المتطلبات التالية :

١ ـ درجة حرارة التجمد يجب أن تكون أخفض من مجال درجات الحرارة العامل بها لا يقل عن (10^0C) . وهذا يتطلب وجود فرق درجة حرارة كافية لتأمين درجة حرارة بسرعة كبيرة وتستمر في الانتقال الحراري وقيمة الحمل اللازم لتحريك السيط .

٢ ـ يجب أن تكون الحرارة النوعية أكبر قدر الإمكان .

٣ ـ أن تكون اللزوجة أصغر ما يمكن .

بالتالي يجب تكرير وسيط تبريد ثانوي بعد تعيين أي قيمة في تغيرات مختلفة . إن السوائل الأكثر قابلية للمتطلبات المشار إليها أعلاه هي المحاليل المائية لكلور الصوديوم ، البروبيلين وكلور الكالسيوم ، وأن الحد الأدنى لدرجات الحرارة عند استخدام هذه السوائل هي على التوالي -15 ، -40 ، 45^0C .

إن تجميد المنتج في وسيط تبريد ثانوي فعالة بشكل كبير ، مثلاً عند درجة حرارة 25^0C وحتى 30^0C تجمد الطيور في هذه الأجهزة بمعدل ٧ إلى ٨ مرات أسرع مما هو عليه في الأجهزة الهوائية .

المخطط المبسط لجهاز من هذا النوع موضح على الشكل (٩ ـ ١٣) . في القسم السفلي لحلقات معزل حراري توجد مبرد مملوء بمحلول البروبيلين غليكول ، وفيه يتوضع مبخر أنبوب التبريد الداخلة على الأرض بارتفاع فوق المبخر وتحت مستوى وسيط التبريد الثانوي ، كسب



هذه الأجهزة يجمد بسرعة ، مما يضمن نوعية جيدة له وقيمة فقد غير كبير بوزن المنتج (حتى % ٠,٥) . ولكن بسبب المصاريف الاستثمارية الكبيرة المتعلقة بشكل أساسي بارتفاع ثمن مواد التبريد ، فمن المناسب استخدام هذه الأجهزة لتجميد المنتجات التي تحافظ على خصائصها الطبيعية فقط عند التجميد السريع عند درجات حرارة منخفضة ، مثلا المنتجات النباتية ذات الصلابة المنخفضة (الفريز ، الحمضيات) ، والمنتجات ذات السطوح الرغوية تستخدم عادة سوائل الآزوت ، ثاني أكسيد الكربون والفريونات كمواد (وسائط) تبريدية .

١٠ ـ ١٣ ـ الأجهزة العاملة على الآزوت :

يعد الآزوت أكثر استخداما نظرا لتوفره ورخص ثمنه عند الضغط الجوي يغلي الآزوت بدرجة حرارة -195.8^0C والحرارة الكامنة لتبخره 199.8 Kj/kg. الآزوت خامل بالنسبة للمنتجات والإضافات المعدنية .

يتألف الجهاز من هيكل خفيف خامل ، وحاجز عزل حراري ، وأنظمة نقل المنتج وتغذية الغاز وإبعاده وأنظمة تبريد وتحكم آلي وتنظيم. نظام التبريد يتألف من حيز تخزين الآزوت السائل ، بحاجات توزيع، سعة لتجميع الآزوت السائل الغير متبخر ، ومضخة ، ومن أجهزة قياس ومراقبة وتنظيم .

يمكن أن يجمد المنتج في الجهاز بتغطيسه في الآزوت السائل ، أو برشه بهذا السائل وبتيار غاز الازوت المتشكل ، او باشتراك العمليات المذكورة معا .

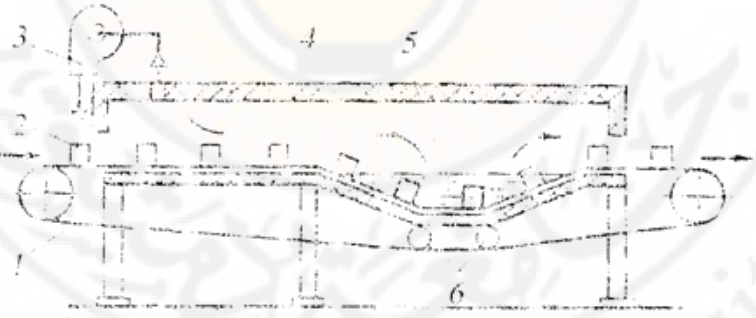
من غير المناسب من وجهة النظر الترموديناميكية تجميد المنتج ذو درجة الحرارة الموجبة في حيز الآزوت السائل نظراً لفرق درجات الحرارة الكبيرة . علاوة على ذلك عند الفرق الكبير بدرجة الحرارة يحدث نظام الغليان الصفيحي والذي يحصل عنده انخفاض حاد لمعامل انتقال الحرارة، لأنه في منطقة التلامس تتشكل طبقة غازية .

يستفاد من المقدرة التبريدية للآزوت بمعدل ٥٠ % تقريباً ، ذلك لأنه من المفيد استخدام الحرارة الكامنة للتحول الطوري فقط ، أما الغاز بدرجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغليان

يطرح إلى الهواء المحيط . لذلك فإن المصروف النوعي للأزوت السائل لأجل التجميد يكون كبيرا (2 kg أو أكثر لكل 1 kg من المنتج) . علاوة على ذلك كثيرا ما يتعرض المنتج للتشوه نتيجة الإجهادات الداخلية ، التي تظهر نتيجة التشكل غير المتجانس للجليد في حجم المنتج .

من المناسب اقتصاديا تجميد المنتج بالجهاز في منطقتين :

تجميد أولي بوساطة غاز الأزوت المتشكل ومن ثم زيادة التجميد في الأزوت السائل (الشكل ١٠ ـ ١٣) . يسلم المنتج بوساطة الناقل إلى المنطقة الأولى التي يتم فيها طرح ٣٠ ـ ٥٠ % من الحرارة عن طريق غاز الأزوت المتشكل . بعد ذلك ينقل المنتج عبر حيز الأزوت السائل ويزداد تجميده ثم يخرج من الجهاز . يبرد غاز الأزوت المتشكل في الجهاز بمساعدة مروحة ويدفع إلى جهة نافذة شحن الجهاز فيتشكل ستار بارد على طريق تهوية النفق . مصروف الأزوت السائل في مثل هذه الأجهزة ينخفض ، ولكن يزداد طول الجهاز مرتين تقريبا بالمقارنة مع تجمد المنتج في سائل الأزوت فقط .



شكل (١٠ ـ ١٣) : جهاز غاز ـ سائل الأزوت لتجميد الخضار
١ ـ الناقل ، ٢ ـ المنتج ، ٣ ـ المروحة ، ٤ ـ الحاجز الغازي ،
٥ ـ حيز الأزوت السائل ، ٦ ـ بكرة توجيه الناقل .

الأجهزة التي يتم فيها رش المنتج بسائل الأزوت تحوي (٤ ÷ ٣) مناطق ، وهذا يضمن طرح فعال للحرارة وتخفيض مصروف سائل الأزوت للتجميد (0,5 - 1,5 kg / kg) . مثلاً في الجهاز ذو الأربع مناطق (الشكل ١١ ــ ١٣) يجري تجميد المنتج بالشكل التالي : في المنطقة الاولى يبرد المنتج من درجة حرارة بداية في المركز 25^0C حتى 5^0C بغاز الأزوت المتشكل الذي يتحرك بسرعة (2 - 3 m / Sec) ويسخن من درجة حرارة ($-196,8 \div -150^0C$) حتى درجة حرارة

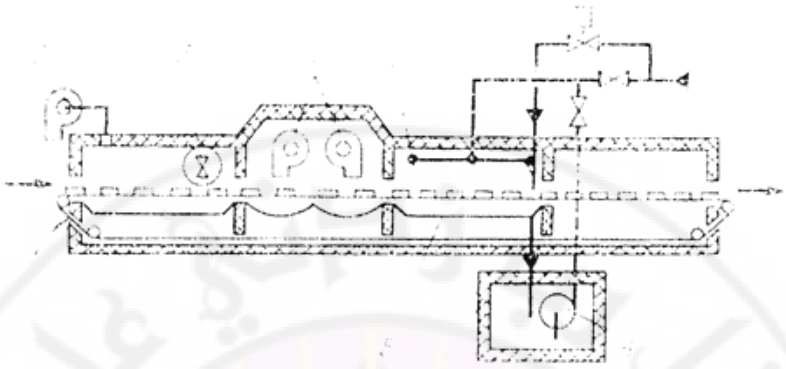
($-70 \div -25^0C$) . في المنطقة الثانية تنخفض درجة حرارة المنتج حتى 0^0C نتيجة التبريد بغاز الأزوت المتشكل والمتحرك بسرعة 15 m / sec والذي يسخن من درحة حرارة ($-150^0C \div -196,8$) حتى درجة حرارة ($-70^0C \div -120$) . في المنطقة الثالثة يرش المنتج بالأزوت السائل ويجمد حتى درجة حرارة في المركز -5^0C . في المنطقة الأخيرة تتساوى درجة حرارة المنتج بكامل حجمه في الوسط الغازي ، الذي يسخن بالتبادل الحراري حتى ($-120^0C \div -150$) . يخرج المنتج من الجهاز بدرجة حرارة -20^0C .

٥٥ % من غاز الأزوت المتشكل يساق إلى المنطقتين الأولى والثانية وهو التيار الاساسي. بعد عبور التيار الاساسي لهاتين المنطقتين يبعد من الجهاز بوساطة مروحة سحب . يدخل إلى منطقة تسوية درجة الحرارة ٥ % من الغاز المتشكل ويبعد عبر نافذة التفريغ .

يدفع الأزوت السائل إلى البخاخات بوساطة مضخة تحت ضغط 0,15 Mpa ويرش مباشرة على المنتج المجمد .

الجزء غير المتبخر من الأزوت السائل يتجمع في الحوض وعن طريق مصفاة وانبوب يدخل إلى الخزان ، ومنه يضخ بوساطة مضخة إلى البخاخات ، مع الحفاظ على مستوى ثابت للأزوت السائل في الخزان بمساعدة منظم مستوى (ريليه مستوى مع صمام كهرطيسي) .

ان استخدام المراوح في الجهاز يزيد من شدة إجراء تجميد المنتج ، ولكنها تعدّ مصدرا للتيار الحراري الذي يشكل قيمة كبيرة من مجمل التيارات الحرارية . لذلك في بعض الأجهزة تستخدم المقدرة القذفية لتيارات الغاز بدلاً من المراوح .



شكل (١١ ــ ١٣) : جهاز عمل على الزجاج مبرد بحمض

١١ ــ ١٣ ــ الأجهزة العاملة على ثاني أكسيد الكربون

غاز ثاني كسيد الكربون خامل ، ويعد مثبط بكتيري .

جهزة ثاني كسيد كربون من حيث التجهيز شبيه الأجهزة الزوتية ، ولكن هناك بعض
تحفظات في عمل نظام التبريد .

من المناسب نقل وتخزين ثاني كسيد الكربون عند ضغط (0,8 ــ 2,5 Mpa) ودرجة
حرارة (١٢ ــ ٤٥) . ن هذا يقلل من فقد ثاني كسيد الكربون وسهل تعبئته ،
ن يستخدم لفرق الضغطي للضغط .

ـــان ثاني كسيد الكربون يدفع من خزان التجميع لتوضع أقرب
ما يمكن من الجهاز لي لحجم الممكن عبر بخارات . عند التبخر في الجهاز يتشكل ثاني
كسيد كربون صلب بشكل ثلج ، يمكن ن يترسب على السطح و يتأثر الجهاز بشكل فعلي
كبير .

١٢ ـ ٢٢ ـ الأدوية المعادلة على الفريونات

١٢ ـ ٢٣ ـ عملية التسامي Sublimation

إن هذه الطريقة بالمقارنة مع الطرق الأخرى تتمتع بالأفضلية .ويمكن تخزين المنتج لزمن طويل (سنة أو أكثر في غلاف محكم) في الظروف العادية (دون تبريد) . كتلة المنتج تكون أقل بمعدل (١٠ ÷ ٤) مرات منها في الحالة الطبيعية .

عند ترطيب المنتج يمتص الماء بسهولة وتتجدد بشكل كامل تقريبا خواصه الغذية ، وشكله الخارجي وحجمه . لكن نظرا للطاقة الكبيرة اللازمة للإنتاج فإن استخدام التجفيف التصعيدي لتعليب المنتجات محدود .

يمكن أن يجرى التجفيف التصعيدي عند الشروط التالية :

١ ــ وجود الجزء الأساسي من الماء في المنتج بحالة صلبة .

٢ ــ وجود فرق بين الضغط الجزئي لبخار الماء في منطقة التحول الطوري و الضغط الجزئي لبخار الماء في الوسط المحيط للمنتج .

للحصول على جودة عالية للمنتج من الضروري ابعاد (% ٩٠ ÷ ٧٠) من الرطوبة عند درجة حرارة في مركز المنتج (°C ٣٠ - ÷ ١٠ -) الجزء المتبقي من الرطوبة والمرتبط بشكل أقوى بالمنتج يبعد عند درجة حرارة (°C ٦٠ - ÷ ٣٠ -) (حسب خواص المنتج) .

تصعيد الجليد كما هو معروف يمكن أن يجرى عند الضغط الجوي . ولكن بهدف زيادة شدة اجراء انتقال الكتلة يجرى التجفيف التصعيدي للمنتجات عند الشروط التي يتم فيها الحصول على فرق كبير بين الضغط الجزئي لبخار الماء المرافق لدرجة حرارة المنتج والضغط الجزئي لبخار الماء في الوسط المحيط للمنتج . للحفاظ على هذه الشروط المذكورة يجب أن يتمتع المنتج بدرجة حرارة محددة . يمكن أن تنظم بإعطاء حرارة للمنتج بكمية كافية لتعويض الحرارة المأخوذة منه بالتصعيد . الضغط الجوي لبخار الماء في الوسط المحيط ينظم بتزويد طرح البخار بالتكاثف على سطح مبادل حراري ذي درجة حرارة (°C ٦٠ - ÷ ٣٠ -) . عند درجة الحرارة السالبة تترسب الرطوبة على السطح بشكل جليد .

إن هذا الإجراء يسمى عادة عكس التصعيد . أما المبادل الحراري يسمى جهاز عكس التصعيد.

انتقال مقاومة انتقال الرطوبة من المنتج إلى المبادل يحفظ الضغط العام للوسط (بما في ذلك الضغط الجزئي للغازات غير المتكاثفة) أقل من الضغط الجوي بالمعدل (من 300 pa إلى 1 pa) . إن سماكة المنتج تؤثر بشكل ملموس في مدة إجراء التجفيف التصعيدي . لذلك فإن سماكة المنتج المعد للتجفيف عادة لا تتجاوز 20 mm .

الإنتاج الصناعي للمنتجات بالتجفيف التصعيدي ينظم وفقا للعمليات التكنولوجية التالية :

١ ــ تحضير المنتج للتجفيف : يصنف ، يغسل ، ينشف ، ويعالج حراريا و بالتبريد يطحن ويوضع في صوان .

٢ ــ إجراء التجفيف التصعيدي ويقسم إلى ثلاث فترات :

أ ــ فترة تثبيت البارامترات المعدلة (المسيطرة) للأنظمة (الضغط الجزئي للبخار في الوسط ودرجة حرارة المنتج) .

ب ــ فترة السرعة الثابتة للتجفيف .

ج ــ فترة السرعة المتغيرة للتجفيف .

في فترة تثبيت نجد أنه في بداية التجفيف ينخفض ضغط بخار الماء في المجفف حتى القيمة المطلوبة وتنتهي بالوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة في المنتج بتدفئة إصطناعية للحرارة . يستمر هذا الإجراء (١٥ ÷ ٥ min) .

فترة السرعة الثابتة للتجفيف التصعيدي تتصف بشدة أكبر لطرح الرطوبة من المنتج واصطناعه الحراري . في فترة التجفيف بسرعة تنجاب تخلخل شدة طرح الرطوبة وتعطى الحرارة جزء كبير من المنتجات ذات المنشأ الحيواني و النباتي تخضع للمعالجة الحرارية (السلق ، القلي) بنتيجة المعالجة يتم الحصول على منتج نصف جاهز وتُبادُ الأحياء الدقيقة . كثير من المنتجات تقطع ، وبالتالي يزداد سطح التبخر ويقل زمن المعالجة

قبل التجفيف يجري تجميد المنتجات . سرعة التجمد تؤثر على زمن التجفيف ونوعية المنتج . عند التجميد البطيء ، مثلاً في غرفة عند (-20 °C) وحمل حر للهواء ، تتشكل بلورات جليد كبيرة داخل بنية المنتج وتؤذي بنيته .

عند التجميد السريع للمنتج في الجهاز العامل على ثاني أكسيد الكربون أو مسائل التبريد تتشكل بلورات صغيرة . البنية لا تتغير ، ولكن تصبح بلورات الجليد الصغيرة من أنسجة المنتج تكون صعبة ، وبذلك يزداد زمن التجفيف وتنخفض نوعية المنتج عند تجديده (إعادته لوضعه الأول) عند ذلك من الممكن تأمين سرعة مثلى للتجمد

البنية البلورية الصغيرة للجليد تتشكل عند تجميد المنتج في جهاز تجميد هوائي عند درجة حرارة هواء (-35 °C) .

المنتجات الصائلة (الحليب ، عصير الفواكه والثمار) تصب في صوان ، أما المنتجات التي تكون بشكل قطع توضع عادة في صوان شبكية (مثقبة) . أحياناً في صوان مربعة من الداخل . توضع الصوانى مع المنتجات على رفوف متوضعة على عربات يمكن أن تكون ارضية او معلقة .

تدخل العربات مع المنتج إلى المصعد ، والذي هو عبارة عن غرفة اسطوانية الشكل او بشكل متوازي مستطيلات مصنوعة من فولاذ غير قابل للصدأ . "حجم "الكتلة في وسط الغرفة مخصص لتوضع العربات مع المنتج . عناصر التسخين في نظام إعطاء الحرارة تكون قريبة جداً من المنتج أو قد تكون ملامسة معه . عنصر التسخين يمكن أن يكون عبارة عن أنبوب اجوف يدور بداخله سائل الحامل الحراري بدرجة حرارة (170 °C + 120) .

داخل الغرفة يمكن أن تتوضع مقاطع جهاز عكس التصعيد ، وهي عبارة عن مبخر ذات التبريد ، ومخصصة فقط لطارح الرطوبة او لتجميد المنتج وما يتبع ذلك من طرح لبخار الماء.

إن توضع جهاز عكس التصعيد في الغرفة يزيد من انتقال الكتلة ، ولكن يقلل المساحة المفيدة للغرفة . أما توضع مقاطع جهاز عكس التصعيد في جهاز مستقل يزيد من مرونة عمل

المحمية ، لأنه يتسبب بحدوث أضرار للمادة يمكن تفريغها دورياً من الجلبة دون التأثير على عمل المحمية .

مقطع جيد عكس للصعب (البخر) مصنع من تنك و عناصر سطحة ذات قساوات .

يستخدم لتبريد الغازات المنطلقة من التفاعلات التي تحصل في حل مستخدم وسيط تبريد ثنائي .

درجة حرارة غليان وسط التبريد ( ) ٦٠ : ٤) ويمكن تأمين درجة الحرارة هذه بوساطة أنابيب تبريد تماسكية تحرية . تعد المخلفات الناتجة من الأجهزة الغازات غير المكثفة ويجب أن تعالج قبل وضعها في مصبات المخلفات الميكانيكية (فلاعية وعاصفة) . مصبات الإلزاع تنتج بالنتيجة كبيرة وتزمن تحفيضاً سريعاً للضغط حتى القيمة المحددة ، أما مصبات العاصفة فتحافظ على هذا الضغط خلال جزء التحليف .

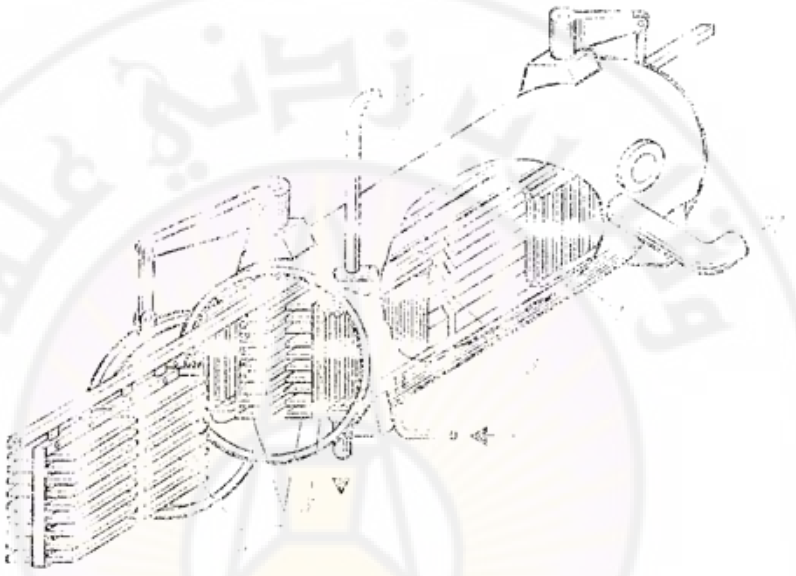
المحطات للصعبة يمكن أن تكون دورية ، أو مستمرة تعمل . إن الأجهزة معقدة للحصول على المستمر ، ويكون استخدامها مبرراً فقط عند الإنتاج بأحجام كبيرة لتشكيلة ضيقة من المنتجات .

في الصناعة تستخدم المحطات ذات العمل الدوري (الشكل ١٢ ــ ١٣) وتتمثل هذه المحطات بجهاز مفرغ في الشكل أعلى المنتجات ، وتحدد الأعضاء المجرزة ، وتحدد فترح الرطوبة ، وتحكم بالتحليف إلى .

تجهز تحدد وظيفة للصعب وعكس للصعب وتحدي عضلي لشحن المفاعلات بالمنتجات وتفريغها منها ، وتحكم حاويات قضيب واحد معلق لتوزيع المفاعلات ، وألواح التسخين ، وتفريغ الوعية عمدية لتجهز عكس للصعب مع حوض لإزالة المادة المذابة ، وشفرات توحيد .

تحدد فترح الرطوبة تحافظ في مقطع عكس للصعب على درجة حرارة غليان الأمونيا ( ) ٣٥) . المجرز المبرد وتسيلي تحدد الأعضاء المجرزة مزودان بتحكم إلى ، وهذا يسمح بتحليف منتجات من نوع مختلف في نفس الوقت (التبريد وفق برنامج معين ، والتسخين

وفق برنامج آخر ، أو استخدام نظام واحد اذا كان الآخر معطلاً) . نظام التخلخل يحوي مضخات تفاضلية اقلاعية و عاملة تؤمن الضغط العامل (160 pa) .



الشكل (١٢ ــ ١٣) : مجدلة تصعيد

١ : جهاز ٢ : مقطع جهاز عازل التصعيد

٣ : شفرات توجيه ٤ : نوابض تحميل ٥ : عربات

عند تجفيف اللحم يتم الإجراء التكنولوجي على الشكل التالي :

اللحم المجمد بقطع بسماكة 12 mm ويوضع على صواني متوضعة على رفوف العربات ، التي تدفع الى الجهاز ، ثم يغلق غطاء الجهاز وتشغل مضخات الإقلاع التفاضلية وتطرد الروح الرطوبة . خلال عشر دقائق تقريبا ينخفض الضغط في الجهاز حتى (١٦٠ pa ــ ٢٠٠) أما درجة حرارة المنتج تنخفض حتى (٣٠ °C + ــ ٢٥ ــ) . ثم يشغل نظام التسخين وتفصل مضخات الإقلاع وتشغل المضخات التفاضلية العاملة. بعد انتهاء التجفيف (٨ ــ ٩ h) تخرج العربات مع المنتج الى قسم التفريغ الذي يتم فيه الحفاظ على رطوبة

تتبين الأرقام عن ٥٠ ^{0} ، وبعد تغليف المنتج ، تخزن وتعرض تحت ظروف مختلفة وبعد فترات زمنية مختلفة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وغيرها) . ولكن بعض العمليات الثانوية (إزالة الجليد عن سطوح أجهزة التبريد ، إبعاد الزيت عن النظام) والتي يجب أن تتم دوريا إن لم تنفذ العمليات تعمل بدونها .

في الأنظمة المدمجة فإن نظام التحكم الآلي يقوم بجميع العمليات التي تضمن الحصول على البارامترات المطلوبة في الأمكنة المبردة وعناصر التبريد ، نظرا لذلك فإن تواجد العامل يمكن أن يكون دوريا .

في الوقت الحاضر تتم الأنظمة الآلية لعمليات التبريد ذات الاستطاعات الكبيرة لأن تجهيزاتها تتمتع بمؤشرات عدم معادمة (استجابة) مرتفعة وعمر طويل وهذا يعني أنه ليس هناك ضرورة للمراقبة المستمرة لعمل التجهيزات وكثرة صيانتها . لذلك يمكن الاستغناء عن عدد من عمال الخدمة والصيانة . علما بأن رواتب العمال أكبر من المصاريف الأخرى المتعلقة بالكهرباء ، لذلك فإن الأنظمة الآلية تكون مبررة .

بالنسبة لمنظمات التبريد الصناعية الكبيرة ما زال من المحاسن اقتصاديا استخدام الأنظمة المركبة .

٣-٤-١- المراقبة الآلية

المراقبة الآلية تؤمن قياس زمني للبارمترات وأحيانا تسجيلها ، وهي تصنف نظام عمل التجهيزات ، مثل درجة حرارة رطوبة الهواء في الغرفة ، درجة حرارة ، ضغط الوسط المبرد ، فرق درجات الحرارة في أجهزة التبادل الحراري ، مصروف الطاقة الكهربائية والماء .

٣-٤-٢- التشوير الآلي

التشوير الآلي ينذر عن طريق الإشارة الضوئية أو الصوتية فيما إذا البارمترات وصلت إلى القيم المحددة او إذا تم وصل أو فصل أحد عناصر محطة التبريد على نظام العمل .

التشوير الآلي حسب وظيفته يقسم إلى تشوير عادي ، انذاري ، طارئ .

التشوير التكنولوجي يعطي معلومات عن عمل الضواغط ، المضخات والمراوح . هذا التشوير يعدّ ضوئياً .

التشوير الإنذاري يخطر العامل بأن قيمة البارامترات اقتربت من القيمة القصوى المسموحة . مثل هذا التشوير يستخدم لتخزين شروط عمل خاصة .

التشوير الطارئي يبلغ عن عمل الحماية الآلية . عندما يعمل التشوير الطارئي تصدر إشارات ضوئية وصوتية .

٤ ـ ١٤ ـ الحماية الآلية

الحماية الآلية تجنب حدوث الطوارئ وذلك بفصل عناصر مستقلة أو بفصل المحطة بالكامل عن العمل عند وصول البارامتر المحدد إلى القيمة القصوى المسموحة .

محطة التبريد مؤسسة إنتاجية عالية الخطورة ، إذ أنها تحتوي عناصر تعمل تحت ضغط مرتفع خصوصاً إذا كان وسيط التبريد المستخدم الفريون . لهذا السبب يتطلب الأمر حماية مضمونة من ظهور حالات خطرة . عند تصميم نظام الحماية الآلي لمحطة التبريد يؤخذ بالحسبان الممانعات المحتملة (عدم الاستجابة) لعناصر المحطة والتي تقود إلى عواقب خطرة على صحة العامل وخسائر كبيرة للإنتاج . في الحالات البسيطة يتألف نظام الحماية من حساس (ريليه حماية) للتحكم بقيمة البارامتر ويعطي الإشارة عند الوصول إلى القيمة القصوى المسموحة ، ومن أجهزة لتحويل إشارة ريليه الحماية إلى إشارة للتوقف توجه إلى نظام التحكم . في محطات التبريد ذات الاستطاعات الكبيرة ينجز نظام الحماية الآلية إذ يكون من غير الممكن التشغيل الآلي للعنصر المتوقف بعد عمل ريليه الحماية . فقط بعد إزالة الأسباب التي أدت إلى التوقف الطارئ للعنصر يمكن تشغيله يدوياً .

في محطات التبريد غير الكبيرة مثلاً المؤسسات التجارية إذا لا تؤدي الطوارئ إلى عواقب شديدة ولا حاجة للخدمة والعناية المستمرة فإن العنصر المتوقف يوصل آلياً إذا عادت قيمة البارامتر إلى المجال المسموح.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الحرارة تنتقل إلى وسيط التبريد في المبخر . الحرارة المنقولة إلى وسيط التبريد عبر سطح المبخر تساوي :

$$Q = k_0 F_0 (t_R - t_0) \qquad (8 . 1)$$

إذ k_0 ـ معامل الانتقال الحراري الكلي

F ـ مساحة سطح المبخر

T_R ـ درجة حرارة الهواء في الغرفة

T_0 ـ درجة حرارة غليان وسيط التبريد

بالتالي فإن سحب الحرارة يمكن أن يتغير بتغير t_0 , F_0 , k_0 . يتم غليان سائل وسيط التبريد في المبخر ويتشكل البخار بكتلة تتناسب مع كمية الحرارة المنتقلة . البخار سحب من المبخر بواسطة الضاغط . إذا كانت كتلة البخار المتشكلة في المبخرات تساوي كتلة البخار المسحوبة من قبل الضاغط فإن ضغط ودرجة الحرارة في المبخر يبقيان ثابتين . بهذه الطريقة يمكن التوافق في عمل المبخر والضاغط يمكن الحكم عليه بتغير ضغط ودرجة حرارة الغليان . عند التغذية دون مضخات فإن سائل وسيط التبريد يدخل إلى المبخر عبر صمام تنظيم . إذا كانت كمية سائل وسيط التبريد الداخلة أقل من الكمية الممكن تبخيرها . عند ذلك يخرج بخار محمص (زائد التسخين) من المبخر . وبالعكس عند التغذية الزائدة لوسيط التبريد سوف يخرج مع البخار قطرات سائلة .

دخول البخار الزائد التحمص إلى الضاغط غير مرغوب فيه كذلك الحال عند دخول البخار الرطب . وبالتالي فإن صمام التنظيم يجب أن يضع بالمقدار الكافي لتكون كتلة وسيط التبريد الداخلة تعادل الكتلة المتبخرة والمسحوبة بوساطة الضاغط . عند الحال بهذه المساواة سوف تتغير قيمة تحميص البخار . يصل سائل وسيط التبريد إلى صمام التنظيم قادما من المكثف وينفي إلى المكثف بوساطة الضاغط . إذا كانت التغذية الزائدة للضاغط مساوية كتلة وسط

التبريد المتكامل في وحدة الانسان فإن السائل وبدرجة الحرارة يكونان ثابتين . بتغيير درجة حرارة وضغط التشغيل يمكن الحصول على أنسب توفيق لتلك العوامل والمكائن .

بهذا الشكل فإن الحالة العامة لتضبيط البارامترات التالية للتنظيم : درجة حرارة ورطوبة الهواء ودرجة حرارة وضغط التبريد ... الخ يمكن تحقيقها (ضغط) التكثيف ...

٦ ـ ١٤ ـ تنظيم درجة حرارة المكان المبرد :

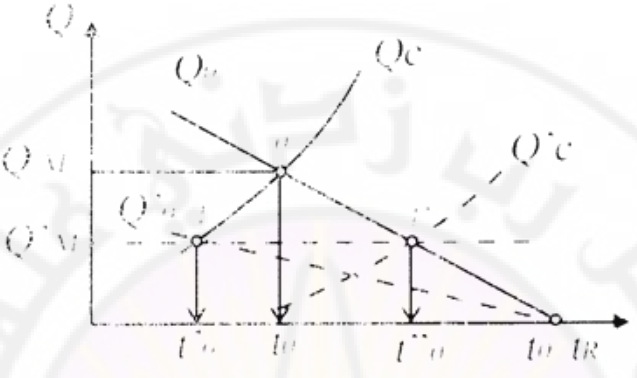
درجة الحرارة في المكان المبرد (أو منطقة التبريد ووسيط التبريد الثانوي) تعد بارامترا أساسيا يصف مقدار عمل محطة التبريد ، لذلك يجب الحفاظ عليها في الحدود المعطاة . درجة حرارة الهواء في المكان المبرد تعتبر كمحصلة لعملية [illegible] وبالدرجة الأولى لنتاجية المبخر والضاغط . وعوامل التأثير على الإنتاجية التبريدية للمبخر والضاغط يمكن ان تكون متنوعة وتتعلق بعدد الغرف التي يزود تبريدها تنظيم درجة الحرارة .

١) تنظيم درجة حرارة المكان المبرد المؤلف من غرفة واحدة :

عند تبريد غرفة واحدة فإن الاستهلاكية التبريدية للضاغط في النظام المستقر تساوي الإنتاجية التبريدية للمبخر . فتنظيم درجة الحرارة في الغرفة يمكن تغيير الإنتاجية التبريدية للآلة كاملة بتغيير الإنتاجية التبريدية سواء للضاغط أو المبخر .

من أجل [illegible] بتغيير عمل المبخر حراري F_0 المبخر و ضغط P_0 (مثلا بتقليل كمية وسيط التبريد التي تغذي المبخر) ، فإن الإنتاجية التبريدية للمبخر تنخفض من Q_0 حتى Q'_0 (الشكل ١ ـ ١٤) وهذا بدوره يؤدي إلى التخفيض المطلوب للإنتاجية التبريدية للآلة [illegible] (Q_{xi} إلى Q'_{xi}) . وتأتي في هذه الحالة تنخفض درجة حرارة الغليان t_0 في المبخر من القيمة الأولية t_0 إلى القيمة t'_0 . عمل الضاغط عند درجة حرارة غليان [illegible] يكون أكثر اقتصادية ، لكن يجب استخدام المبخر بشكل كامل (بتأمين مادة وسيط التبريد المطلوبة) وتخفيض الإنتاجية التبريدية للآلة بطريقة تخفيض الإنتاجية

التوربينة للمضاعف . على الشكل (٢ ـ ٢٠) نرى أن زيادة سرعة الدوران فقط تنقل النقطة A إلى من ١ إلى ١'.



شكل (٢ ـ ٢٠)

تحدث تغيرات أخرى تزيد من (Q) التي حسب تغيرات سحب تبدأ من (Q'). تتغير المضاعفة من Q

ن تغير الإنتاجية التوربينية للمضاعف يمكن أن يتم بوسائل وطرق متعددة : يمكن تغير الإنتاجية التوربينية لتربيعة مراحل . فمثلاً يتعلق بعدة مراحل قد تكون مراحلين أو ثلاث مراحل أو أكثر للتنظيم . في نموذج المكبس يستخدم التنظيم المراحلي لتغير الإنتاجية التوربينية . في الحالة البسيطة يستخدم التنظيم بمرحلتين بشكل واحد للمضاعف . التنظيم لإدارة المضاعف المكبسية يمكن أن يتم بالتربيع بحيث ، عندما يتغير عدد دورات محور المضاعف ، يخلق التحرر المسحوب في المضاعف . تتغير الدورات من جهة واحدة في حظ السحب ، بتغيير التحرر من المطواعة في حجرة السحب . لأن هذه الطرق من التنظيم قل استخداماً من التنظيم المراحلي .

إن الطريقة الأكثر انتشاراً لتنظيم درجة الحرارة في جهاز التبريد التوربينية المضاعفة بمجموعة مضاعف ومكثف مستقلة هي التنظيم بمساعدة ريشة مرشحة (الشكل 2.11 ـ 14) .



إلى العمل الطويل للضاغط وإلى انخفاض ضغط وارجة حرارة تبخير وسط التبريد . كمية وسيط التبريد الدائرة في النظام في وحدة الزمن تقل وينتج تبريد بحرارة أكبر من المقدار (إذا كان الجهاز التبريدي مخدم بمحرارة معقدة) . لذلك من المناسب في التجهيزات ذات المجموعة المغلقة استخدام وسيلة الرموستاتية تكون مصممة لتعمل مرتبطة بالمبخر (الشكل 14 - 2 . b) . في هذه الحالة فإن الوسيلة الترموستاتية تتحكم بارجة حرارة الوسط وسيط التبريد ، وبالنتيجة ذلك يتم الحفاظ على درجة الحرارة في الحيز المبرد بشكل غير مباشر .

عندما يتم تحديد جهاز التبريد بواسطة مجموعة ذات ضاغط مفتوح تبرد في درجة الحرارة عادة تنظم في الحيز المبرد بشكل غير مباشر بمساعدة وسيلة ضغط . تتحكم الوسيلة بعمل الضاغط بشكل يتغلق بضغط وسيط التبريد في المبخر (الشكل 14 - 2 . c) . يجب ملاحظة أنه عند زيادة الحمل الحراري ، يتحكم ضغط الغليان على المبخر في زمن التشغيل الزمني لمجموعة التبريد يرتفع . هذه الطريقة لتنظيم درجة الحرارة في الحيز المبرد تسمح بالحفاظ على المجالات اللازمة لضغط ودرجة حرارة غليان وسيط التبريد في المبخر . فيما يتعلق بتنظيم درجة حرارة الغرفة المبردة تتغير الناحية التبريدية للضاغط بالطريقة الخنق على خط السحب في ذلك يمكن تحقيقه بمساعدة صمام تنظيم درجة حرارة الماء . الشكل (14 - 3 . a) يبين مخطط مبسط لهذه الطريقة من التنظيم .

عند انخفاض الحمولة الحرارية وبشكل موافق درجة الحرارة في الغرفة المبردة فإن الضغط في العملية الحرارية لصمام التنظيم ينخفض ويغلق صمام التنظيم بحيث تتغير النقطة .

عند ذلك ضغط البخار قبل الضاغط P_s ينخفض ونجده أنه على سبيل المثال ١٠ بار ، وهذا يؤدي إلى انخفاض الناحية للضاغط . إضافة لذلك فإن زيادة نسبة ضغط الدفع على ضغط السحب يسبب انخفاض معامل التغذية للضاغط ، وهذا يؤدي بالتالي إلى انخفاض ناحية الضاغط .

إن انخفاض كمية البخار المأخوذة بالضاغط من Q_0 إلى Q_1 (الشكل 14 - 3 . b) يؤدي إلى زيادة الضغط في المبخر ، وارتفاع درجة الحرارة من t_1 إلى t_2 . بانخفاض فرق



ان تغير إنتاجية الضاغط بالدرق على خط السحب ذو اقتصادية غير كبيرة نسبيا لأن [illegible] ان زيادة الانضغاط يؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة للبخار المضغوط وأحيانا يؤدي إلى الخلل بتغذية الزيت تزيد الانخفاض المفاجئ للضغط في حوض الزيت (الكارتر) وتشكل الزبد في الزيت .

ب) تنظيم درجة حرارة الهبوط لمبرد مؤلف من عدة غرف :

عند التبريد المتتالي لعدة غرف لا يمكن تنظيم درجة الحرارة في كل منها بتغير الإنتاجية التبريدية للضاغط . لأن الإنتاجية التبريدية الضاغط يجب أن تساوي مجموع الأحمال الحرارية لجميع الغرف (بشكل أدق المحصلة الأعظمية للأحمال الحرارية التي تظهر في غرف التبريد في وقت واحد) .

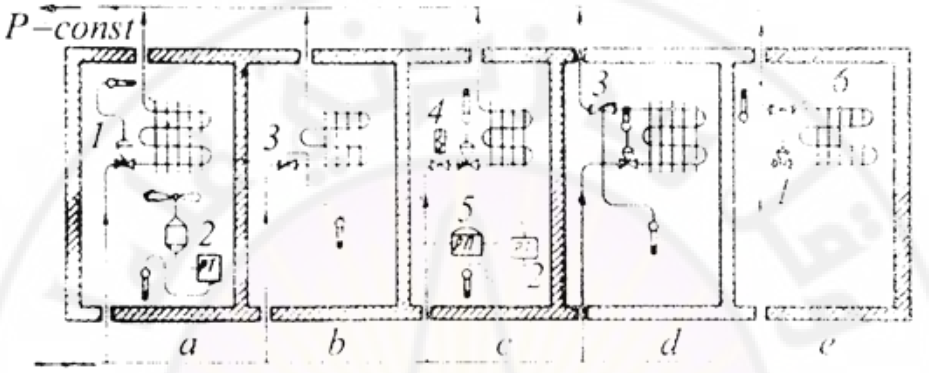
ج) تنظيم درجة الحرارة t_0 في كل غرفة يتحقق بتغيير الإنتاجية التبريدية للمبخرات بتغيير معامل الانتقال الحراري k_0 أو سطح المبخر F_0 أو درجة حرارة الغليان t_0 .

تغير قيمة معامل الانتقال الحراري يمكن أن يتم بتشغيل وإيقاف المروحة (الشكل a – 4 – 14).

إن صمام التنظيم الترموستاتي ١ في هذا المخطط يستخدم فقط من أجل تنظيم ملء المبخر . انخفاض k_0 عند توقف المروحة يمكن أن يؤدي (دون استخدام صمام تنظيم ترموستاتي) إلى انصباب السائل عبر المبخر وصوله إلى الضاغط . في المخططات التي لا يمكن أن يتم فيها وصول السائل إلى الضاغط (مثلا المخططات مع المضخات ومع خزان دورانـي) لا حاجة لاستخدام صمام تنظيم ترموستاتي .

في المخطط الموضح على الشكل (b – 4 – 14) فإن منظم درجة الحرارة التناسبي ٣ عند ارتفاع t_0 يقلل بالتدريج تدفق وسيط التبريد إلى المبخر . هذا يؤدي إلى التقليل من سطح التبادل الحراري بين السائل المغلي وجدران المبخر . في المبادلات غالبا يبقى سطح التبادل الحراري F_0 ثابتا عند ذلك فإن انخفاض مستوى السائل يؤدي إلى انخفاض k_0 .

إلى مخطط تغير مفتوح بخار يوضع صمام كهربائي ٤ على مدخله (الشكل ٤٠-١٤)
الذي يسمح بمرور صمام الكهربائي بمساعدة ريشه درجة حرارة ٢ (عادة عن ريشه
بريشه ٢) عند وصول درجة الحرارة إلى القيمة المحددة t_{ig} .



شكل (٤٠-١٤) : مخطط تغير مفتوح لبخار مرسوم بالطريقة [illegible]

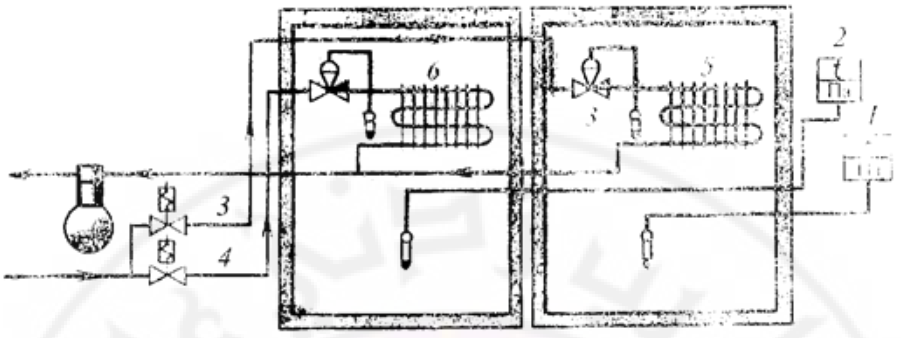
[illegible]

صمام الكهربائي لتزويد الماء في هذا المخطط كما في المخطط الموضح في الشكل
(٤٠-١٤) يقوم بتغذية مزيل البخار عندما يكون صمام الكهربائي مفتوحاً وذلك
لتعويض الفقد في البخار .

في حال كون صمام الكهربائي مغلقاً فإن البخار المتبقي في المبخر يغلي (t_{ig}) ،
ولكن بشكل دوري يغلي وجيزة في المبخرات الكبيرة السعة ومبخرات العمر تكون كبيرة
بسبب أن هذا البخار المختلط يزيد من سعة الحرف درجة حرارة الشكل المبرد .

التقلل من انحراف درجة الحرارة يركب جهاز الصمام الكهربائي على مخرج المبخر .
عندما في تغير الناحية التربيعية يتم على سبيل المثال قيمة توسطية لدرجة حرارة الغليان :
عندما يكون صمام الكهربائي مفتوحاً فإن [illegible] توافق ضغط السحب P_{ig} ، وعندما يكون

Damascus University



الشكل (٥ ـ ١٤)

١ ، ٢ : ريليه ترمستاتية ، ٣ ، ٤ : صمام كهرطيسي ٥ ، ٦ : مبخر

بهذا الشكل يمكن الحفاظ على درجات الحرارة المطلوبة عند فرق بدرجة حرارة الأمكنة المبردة بما لا يزيد عن $6^{0}c$ وحمل حراري متغير . ولكن بهذه الطريقة لتنظيم درجة الحرارة بعد إغلاق الصمام الكهرطيسي وتوقف تدفق وسيط التبريد إلى المبخر الموافق فإن ضغط وسيط التبريد في المبخر الأخير ينخفض بشكل كبير لأن الحمل الحراري ينخفض إلى جوالي النصف . ويمكن تفسير ذلك بأن انضغاط بسحب بخار وسيط التبريد يخفض الضغط حتى اللحظة التي تصبح فيها إنتاجيته التبريدية موافقة للحمل الحراري على المبخر .

عندما تكون الفرق كبيراً بين درجتي حرارة الغرفتين المخدمتين بضاغط تبريدي واحد (مثلاً $15^{0}c$ – و $0^{0}c$) ، عند ذلك يمكن تنظيم درجة الحرارة في الغرف المبردة بمساعدة منظم درجة حرارة تناسبي (الشكل 6 - 14) . تقوم ريليه الضغط المنخفض ١ بالتحكم بعمل الضاغط وتكون معيرة للحفاظ على ضغط ودرجة حرارة وسيط التبريد في المبخر ٢ الموافقين لدرجة الحرارة $15^{0}c$ – في الغرفة الأولى . يركب صمام عدم رجوع ٤ على أنبوب سحب المبخر المذكور .

على أنبوب السحب للمبخر ٣ يركب منظم درجة حرارة تناسبي ٥ يتوضع في الغرفة المبردة إذ درجة الحرارة اللازم تأمينها $0^{0}c$.



شكل (٧ - ٢)

١ : ريليه ضغط منخفض ، ٢ و ٣ : مبخر ، ٤ : [illegible]

تتحسس البصيلة الحرارية للمنظم درجة الحرارة في الغرفة المبردة ، و [illegible] تقيسه انعيرية فتح صمام المنظم [illegible] المبخر ٣ . بهذا الشكل يتم ضمان الحفاظ على الدرجة المطلوبة [illegible] وسيدخل التبريد في المبخر ٣ فتنخفض درجة الحرارة في المبخر ٣ عن [illegible] في المبخر ٣ يكون أعلى منه في المبخر ٢ ، [illegible] من المبخر ٣ إلى المبخر ٢ عند توقف الضاغط .

٧ ـ ١٤ ـ أعطال المبخرات :

يتعلق العمل الفعال للمبخر بتغذيته بالمائع المبرد [illegible] انخفاض الإنتاجية التبريدية للمبخر ، زيادة ما في المبخر من [illegible] الضاغط مما ينتج عن إغلاقه ويمكن أن يؤدي [illegible] أيضا صدمة هيدروليكية .

١ ـ ٧ ـ ١٤ ـ مؤشرات اختلاف [illegible]

أن مثل هذه المؤشرات والتي تعكس نسبة الامتلاء بسائل التبريد هي منفذ وتحميص البخار على مخرج المبخر . عندما تكون تغذية السائل للمبخر غير كاملة فإن مستوى السائل في المبخر ينخفض وهذا يؤدي إلى زيادة درجة حرارة البخار المحمص عند مخرج المبخر .

إن تغذية وسيط التبريد المبخر بكمية أكبر من التي يمكن ان تتبخر بالتأثير الحراري المتوفر في المبخر وتكون هذه الزيادة من جفف وتحميص البخار على مخرج المبخر .

يضاف البخار يعد بارامترا أكثر موضوعية ، ولكن عدم وجود الطرق البسيطة لقياسه لا يسمح باستخدام هذا البارامتر كمؤشر للامتلاء . لذلك فإن البارامتر الأكثر انتشارا والمستخدم لمراقبة امتلاء المبخر بوسيط التبريد هو تحميص البخار على مخرج المبخر . توجد طريقة بسيطة بشكل كاف لقياس التحميص . من أجل ذلك يكفي قياس درجة حرارة البخار الخارج من المبخر ودرجة حرارة التبخير وحساب ذلك الفرق بينهما .

إن تحميص البخار على مخرج المبخر يعتبر مؤشرا مريحا بشكل كاف للملء ويمكن أن تستخدم أكثر من الوسائط التبريدية . يجب الانتباه إلى أن التحميص يمكن أن يستخدم مؤشرا فقط في تلك الحالة عندما يكون جزء من المبخر مخصص لعملية التحميص . في الأجهزة التي لا تحتوي على مثل هذا الجزء فإن التحميص لا يمكن أن يكون مؤشرا .

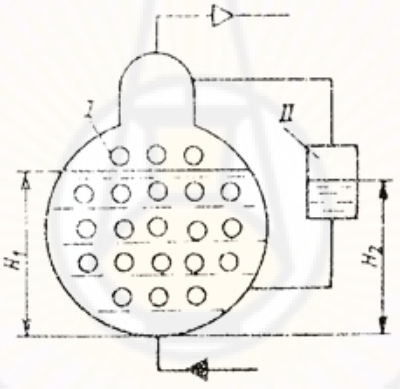
في مبخرات الغمر وكذلك الأجهزة التي لا يمكن عندها استخدام التحميص مؤشرا للامتلاء يستخدم مستوى وسيط التبريد في المبخر . يمكن استخدام مستوى مؤشرا للامتلاء بطريقة أكثر وثوقية لوسائط التبريد التي لا تُحل بالزيت ، مثل الأمونيا والهيدروكربونات . وذلك بسبب كون الزيت غير مصحوب بالتشكل الهوائي للرغوة وان البخار يبعد بسهولة من السائل . من أجل قياس تنظيم المستوى تستخدم على الأغلب الأوعية المتصلة . مستوى السائل في الوعاء H والمتصل مع المبخر I يتعلق بمستوى السائل في المبخر (الشكل ٧ ـ ١٤) .

مستوى وسيط التبريد في المبخر يكون أعلى بعض الشيء منه في وعاء القياس . وهذا يفسر بأن درجة إشباع السائل بالبخار تتفاوق بالتيار الحراري النوعي ، وهو في المبخر أكبر بكثير

منه في وعاء لقياس . لذلك فإن كثافة وسيط التبريد تعتمد في النهاية على كل من وعاء قياس وعاء لقياس . هذه الناحية يجب عادة عند تحليل حمزة الامتلاء وتصميمه

ن الصعوبة الكبيرة لاستخدام لمستوى مؤشر لامتلاء لتبخير عند تعامل مع الزيوت . إن وجود الزيت المتبخر في الفريون يؤدي إلى تشكل رغوة هذا السائل وبالتالي فإن كثافة الخليط المتعلق تختلف بشكل كبير . وفي مثل هذه الحالة يصبح من غير الممكن استخدام المستوى مؤشر لامتلاء .

ثمة طرق لقياس لمستوى لا تتعلق باستخدام الأوعية المتصلة . في هذه الحالة تدخل عناصر لحسية مباشرة في فراغ لتبخر .



شكل (٤ - ٢)

مخطط قياس مستوى من أجل تبريد سائل متعدد

ذا انخفضت كمية سائل وسيط التبريد لمتعدي للتبخر عند ثبات درجة حرارة لمحيط لحراري لأدنى ، فإن مساحة سطح التلقي لحراري تفعل تنخفض . وتعني تلك تغير خصائص التبخر وتنخفض درجة حرارة وضغط تغليق . بالتالي فإن درجة حرارة (أو ضغط) التغليق يمكن أن تكون مؤشرين لامتلاء لتبخر . ولكن على درجة حرارة التغليق يؤثر كل من : درجة حرارة التكثف ، التيار الحراري ، تغير نوعية سطح التلقي لحراري وعوامل أخرى . بهذا الشكل فإن وظيفية الارتباط بين درجة حرارة تغليق ومستوى لمتلاء


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

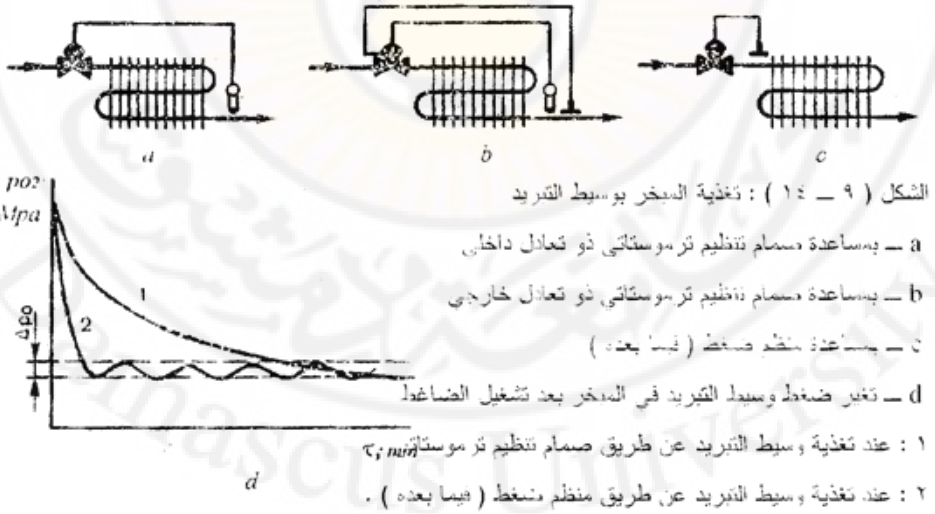
يستخدم صمام التنظيم الترموستاتي ذو التعادل الداخلي فقط في معدات التبريد الصغيرة وعند درجات حرارة غليان أكبر من -30^0C .

في الآلات ذات درجات الحرارة المنخفضة تستخدم صمامات التنظيم الترموستاتي ذات التعادل الخارجي ، اذ عند ذلك لا تؤثر مقاومة المبخر في دقة تنظيم التسخين .

يعمل صمام التنظيم الترموستاتي على أساس تغير درجة حرارة بخار وسيط التبريد في المبخر مع بعض التأخير ، ويفسر ذلك بالتغير التدريجي لدرجات الحرارة ، في أنبوبة السحب أولا ، وبعد ذلك في البصيلة الحرارية ، ومن ثم درجة حرارة وضغط المادة المالئة النظام الحراري . عند انخفاض الحمل الحراري على المبخر فإن زمن التأخير يزداد .

إن التأخير يسبب العمل النبضي لصمام التنظيم الترموستاتي ، لذلك لا تؤمن في المبخر درجة حرارة وضغط غليان مستقرين .

إذا تجاوزت نتيجة صمام التنظيم الترموستاتي الحمل الحراري على المبخر بأكثر من ٣٠% فإن ضغط وسيط التبريد في المبخر يزداد ويعمل الضاغط منطقياً كمية أكبر من الطاقة.



الشكل (٩ ــ ١٤) : تغذية المبخر بوسيط التبريد

a ــ بمساعدة صمام تنظيم ترموستاتي ذو تعادل داخلي

b ــ بمساعدة صمام تنظيم ترموستاتي ذو تعادل خارجي

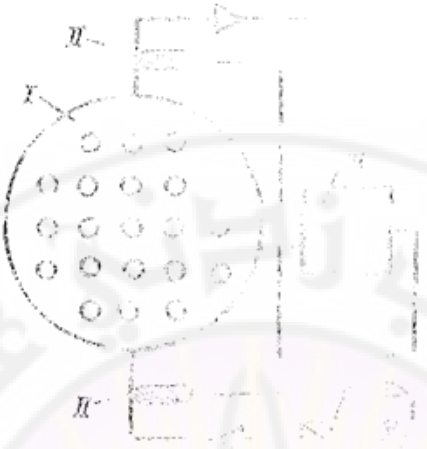
c ــ بمساعدة منظم ضغط (فيما بعد)

d ــ تغير ضغط وسيط التبريد في المبخر بعد تشغيل الضاغط

١ : عند تغذية وسيط التبريد عن طريق صمام تنظيم ترموستاتي

٢ : عند تغذية وسيط التبريد عن طريق منظم ضغط (فيما بعد) .

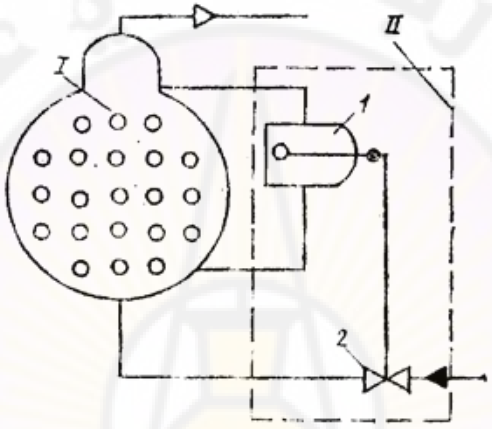
عند تذبذب الحمل الحراري على المبخر وضرورة العمل بضغط ثابت لغليان وسيط التبريد يكون من المناسب استخدام منظم ضغط (فيما بعده) لتغذية المبخر (الشكل c . 9 ـ 14).



ن أكثر المنظمات انتشاراً هي المنظمات التي يتم فيها تحويل المستوى إلى إزاحة ميكانيكية باستخدام محولات ذات عوامة . عند ذلك تكون العوامة عادة متوضعة في غرفة متصلة مع المبخر .

إن مبدأ عمل هذا النظام موضح على الشكل (١١ ــ ١٤) .

النظام يتألف من مبخر I ومنظم مستوى II .



الشكل (١١ ــ ١٤) نظام تزويد آلي للمبخر وفق المستوى

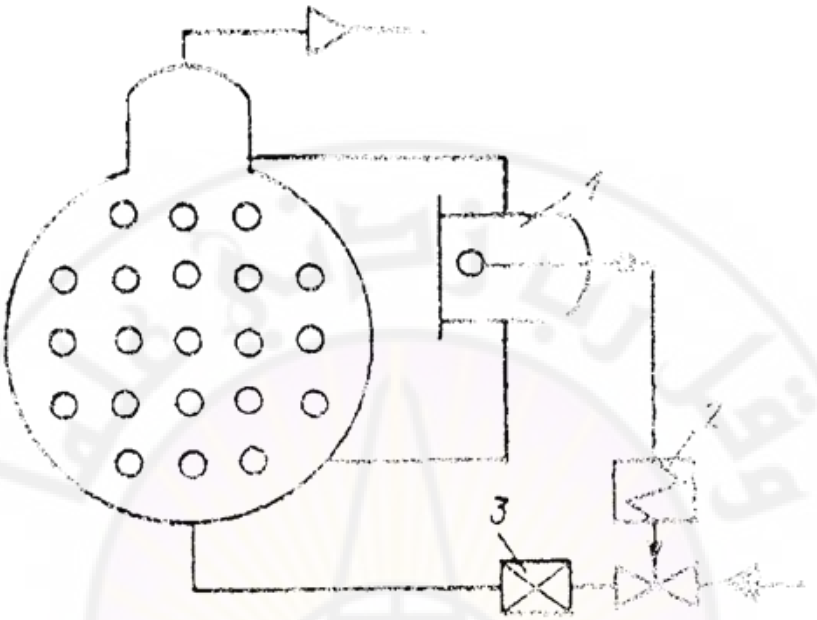
يدخل في تركيب منظم المستوى محول المستوى ١ وعنصر التنظيم ٢ .

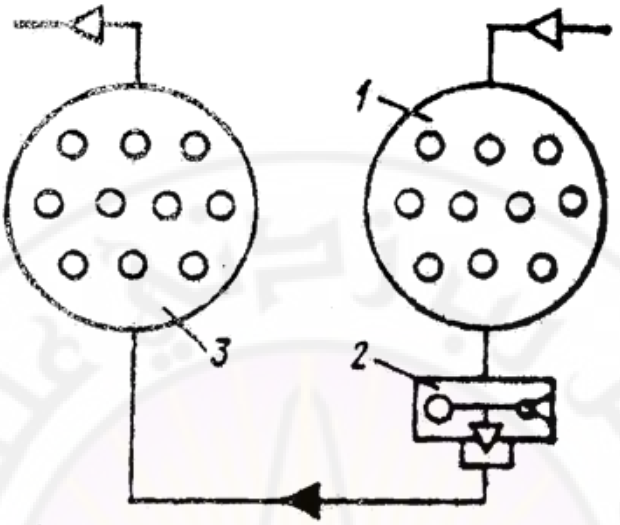
في المخطط يعدّ محول المستوى والمبخر وعائين متصلين . إن مستوى وسيط التبريد في المبخر يتشكل في المحول بمساعدة أنابيب المستوى .

يتم الخنق في عنصر التنظيم ٢ . عند ارتفاع المستوى في المبخر فإن العنصر المنظم يقلل تغذية وسيط التبريد . وعند انخفاض المستوى يزيد التغذية .

في النظام المرحلي (الشكل ١٢ ــ ١٤) يستخدم الصمام الكهرطيسي (٢) كعنصر منظم والذي يفتح او يغلق بإشارة من محول المستوى (١) . الخنق يتم في صمام تمدد يدوي (٣) .

إن أنظمة ملء المبخر المستعرضة أعلاه والتي تعدّ فيها مستوى وسيط التبريد في المبخر مؤشراً للامتلاء ، تسمى غالباً بمنظمات مستوى ذات الضغط المنخفض .


1
2
3

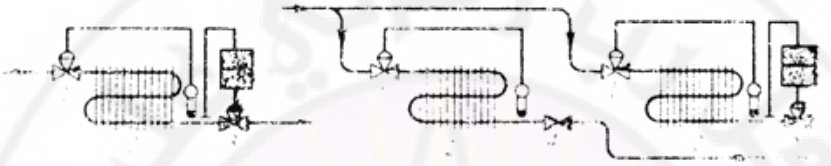


الشكل (١٣ ــ ١٤) : نظام ملء المبخر مع منظم المستوى ذو الضغط العالي

٣ ــ ٧ ــ ١٤ ــ تنظيم ضغط غليان وسيط التبريد :

إضافة إلى مهمة تنظيم تغذية وسيط التبريد للمبخر ، يقوم منظم الضغط (فيما بعده) بتأمين ضغط غليان ثابت عمليا . في حالة استخدام صمام تنظيم ترموستاتي لتغذية المبخر بوسيط التبريد يمكن الحفاظ على المجال اللازم للضغط بوساطة منظم ضغط (فيما قبله) يركب على أنبوب السحب (الشكل ١٤ ــ ١٤) . هذا الصمام ينظم كمية بخار وسيط التبريد المسحوب من المبخر . فمثلا عند انخفاض الضغط في المبخر فإن صمام المنظم يغلق جزئيا وبالتالي يسحب الضاغط كمية أقل من بخار وسيط التبريد ويرتفع عند ذلك الضغط في المبخر من جديد .

منظم الضغط (فيما قبله) يستخدم أيضا عندما يكون من الضروري الحفاظ على ضغطين مختلفين في مبخرين مستقلين . يتشكل في أحد المبخرين ضغط أكثر انخفاضا بنتيجة العمل المشترك للضاغط وصمام التنظيم الترموستاتي المعير لتغذية كمية أقل من وسيط التبريد ، أي لتحميص أعلى للبخار . على مخرج المبخر الآخر يوضع منظم ضغط (فيما قبله) .



١٠-٣-٤ اتمتة المكثفات

الدورة التبريدية للمنظمات تنخفض بسبب انخفاض ضغط التكاثف، أما الإنتاجية التبريدية للمبخر فترتفع عند ذلك تزداد وهذا يتطلب زيادة تغذية المائل للمبخر.

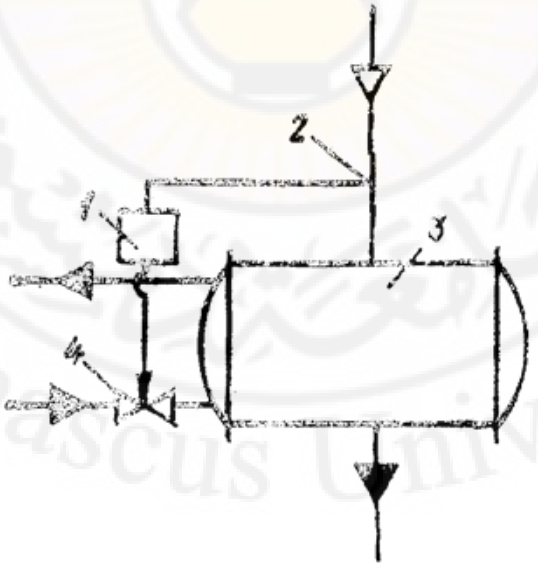
عند تبريد المكثف بالوسط المحيط تنخفض درجة حرارة التكاثف حتى ضغط التكاثف في حدود معينة.

١٥-٨-١٤- المنظمات ذات التبريد المائي (المكاثف المائية).

يلجأ إلى أتمتة المكاثفات المائية عند ضرورة الاقتصاد بالماء وعند احتمال تغير درجة حرارة مياه التبريد في حدود واسعة.

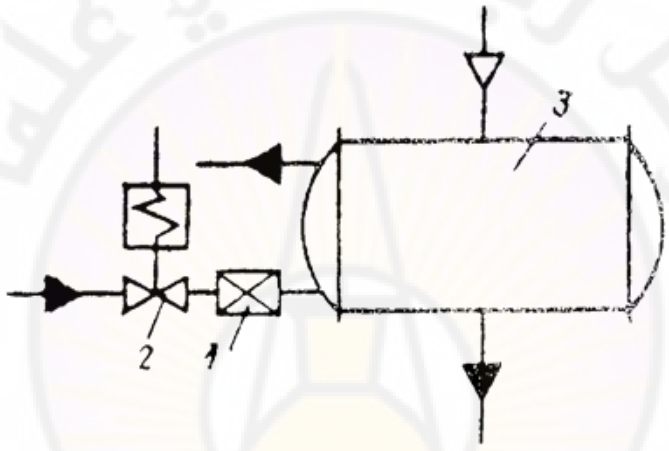
الشكل (١٥-١٤) يوضح مخطط توصيل منظم ماء (١) ذي عنصر تحسس (٢) موصول بأنبوبة الدفع (أو بالجزء العلوي من المكثف ٣) العنصر الداخلي (٤) يوضع على أنبوب الماء.

صمام العنصر المنظم يكون مغلقا إذا كان ضغط التكاثف أقل من الضغط المعطى (المحدد) عند ارتفاع ضغط التكاثف فإن الصمام يفتح بالتدريج حتى وضع محدد. عند انخفاض ضغط التكاثف فإن مقطع تمرير الصمام يقل.



الشكل (١٥-١٤) تنظيم ضغط التكاثف بتغير تدفق الماء

ـ تأخير من أجل تأخير التغذية التي تتعارض بعملية الشبكة تعمل على نظام التشغيل – التوقف بالنهاية الزمنية ثابتة قريب خلال فترة تعمل. في الآلات ذات المنظم المائي فإن إيقاف تغذية الماء بعد توقف الضاغط بعد فقط بعد تبريد المكثف وهذا يتطلب مصارف اضافية للماء. لتلك التي مثل هذه الآلات يمكن استخدام صمام كهرطيسي ويدوي بدلاً من منظم الماء الشكل (١١ ٢٤).

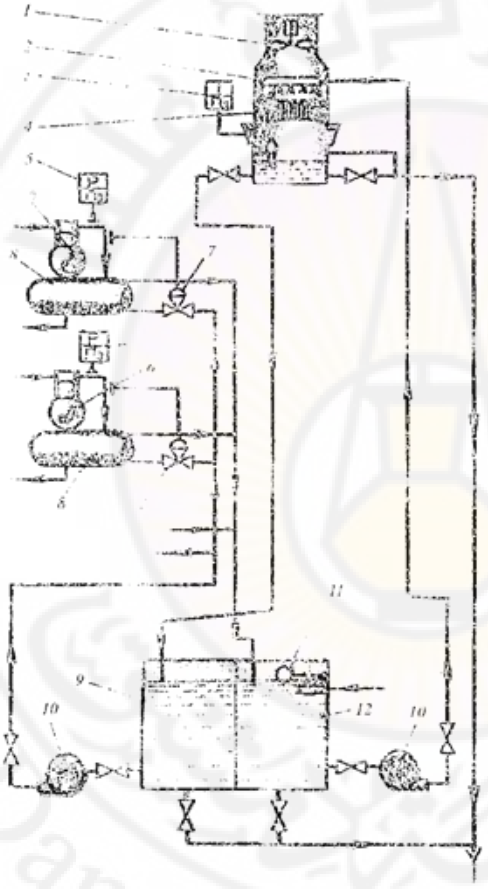


شكل (١١ ٢٤) مخطط آلة حراري لتغذية الماء في المكثف

ن فتحة صمام المنظم لتدفق (٢) بد من أجل القيد الموسمية لدرجة حرارة الماء. في النظام الذي تتبع لصمام الكهرطيسي عند التشغيل ويغلق عند إيقاف الضاغط بإشارة من مفتاح التحكم الذي يبين الشكل بعد تغذية المكثف (٣) بالماء أيضا وتقطع التغذية عند توقف الآلة. بالإضافة في مصروف الماء الذي يبرد المكثف يستخدم في بعض الحالات نظام إعادة استخدام الماء (دورة مغلقة)، نظر الشكل (١١ ٢٤).

الماء المسخن في المكثف يصب في خزان التجميع، وبعد ذلك يضخ بواسطة مضخة إلى مجمع برج التبريد حيث يرذذ الماء عبر فوهات ويمثل عناصر البرج. يتبخر جزء من الماء في البرج على حساب حرارة الماء المتبقي. الماء المبرد يعود البرج إلى خزان الماء البارد ويضخ بواسطة مضخة إلى المكثفات عبر صمامات تنظيم مائية تساعد في الحفاظ على ضغط التكثيف الثابت بواسطة التبريد.

لتجنب تجمد الماء في حوض البرج خلال الفترة الشتوية يتم فصل مروحة البرج بواسطة ريليه ترموستاتية عند درجة حرارة 5°C. عند تبخر الماء في البرج وانخفاض مستواه في خزان الماء البارد يدخل ماء تعويضي من الشبكة إلى خزان الماء الساخن عبر صمام فواشة.



الشكل (١٧-١٤)
نظام تغذية الماء في دورة مغلقة
١: مروحة البرج
٢: مبدد البرج مع الفالات (رشاشات)
٣: ريليه ترموستاتية
٤: حساس
٥: ريليه ضغط
٦: ضاغط
٧: صمام تنظيم مائي
٨: مكثف
٩: خزان الماء البارد
١٠: مضخة
١١: صمام فواشة
١٢: خزان الماء الساخن

ولكن من المفضل استخدام المجموعات ذات المكثفات الهوائية، وذلك بسبب كون المكثفات ذات التبريد المائي بدورة مغلقة تتصف بمصروف كبير في المضخة واستهلاك كبير للطاقة وتتطلب يضاً عملاً كبيرا من أجل الصيانة بالإضافة إلى ارتفاع كلفة الماء.

٢-٨-١٤- **المكثفات ذات التبريد الهوائي (المكثفات الهوائية):**

إنّ هذه المكثفات معرضة أكثر بكثير من المكثفات المائية لتغير درجة حرارة الوسط المبـرّد، أحياناً مكثفات الآلات العاملة على مدار السنة تبرد بهواء ذي درجة حرارة سالبة، وهذا مـا يحظر عملها دون الحفاظ على ضغط التكاثف في الحدود المسموحة.

إنّ إحدى وسائل تنظيم ضغط التكاثف هي تغير سرعة أو تدفق الهواء. هـذه الوسـيلة تـتم بمساعدة حواجز، بطريقة تغيير زاوية الفتل لشفرات المروحة. عند انخفاض ضغط التكـاثف إلى أقل من القيمة المحددة فإنّ الحواجز تغلق بعض الشيء وسرعة الهواء المنـساب حـول أنابيب التبادل الحراري للمكثف تنخفض وهذا يجر وراءه انخفاض معامل الانتقال الحـراري وازدياد درجة حرارة التكاثف.

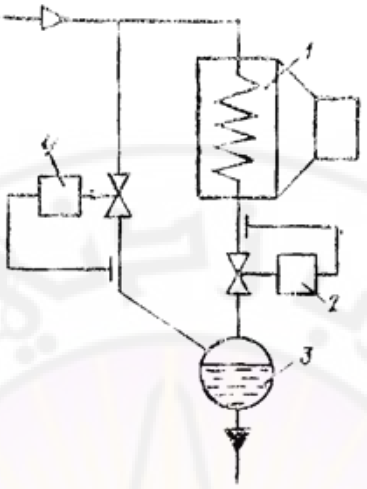
يمكن رفع درجة حرارة التكاثف بالتقليل من سطح الانتقال الحراري للمكثف وهذا ممكن بغمر المكثف بوسيط التبريد. إنّ إحدى مخططات التنظيم الآلي لدرجة حرارة التكـاثف بالطريقـة المذكورة موضح على الشكل (١٨-١٤). بين المكثف ١ والخزان ٣ يركـب صـمام تنظـيم الضغط ٢، حيث يقوم العنصر الحساس له باستقبال ضغط المكثف.

على الخط الذي يصل الخزان مع الجزء السفلي للمكثف يركب صمام تنظيم ثـاني الـضغط ٤. المنظم الأول للضغط ٢ يحفظ ضغطاً ثابتاً في المكثف. والمنظم الثاني ٤ يحفظ ضـغطاً ثابتاً في الخزان.

عند انخفاض درجة حرارة الهواء والتي تسبب انخفاض ضغط التكاثف فإنّ صمام المـنظم ٢ يغلق جزئياً. بنتيجة ذلك تزداد مقاومة الخط الذي يصل المكثف مع الخزان والتقليل من فعالية السطح العامل للمكثف.

نظراً لظهور مقاومة إضافية على الخط الذي يصل المكثف بالخزان، فإنّ الضغط في الخـزان يبدأ بالتناقص وهذا يستدعي فتح صمام المنظم ٤ ليصبح الضغط في الخزان من جديد مطابقاً للضغط في المكثف.

إنّ مثل هذا النظام يؤمن الأداء الطبيعي لأجهزة ملء السبخرات عند الانخفاض الكبير لدرجة حرارة هواء التبريد. في المكثفات المولفة من عدة مقاطع مع مراوح مستقلة يمكـن الحفـاظ على درجة حرارة التكاثف عند انخفاض درجة حرارة الهواء بوساطة فصل عـدد مـا مـن المراوح المستقلة.

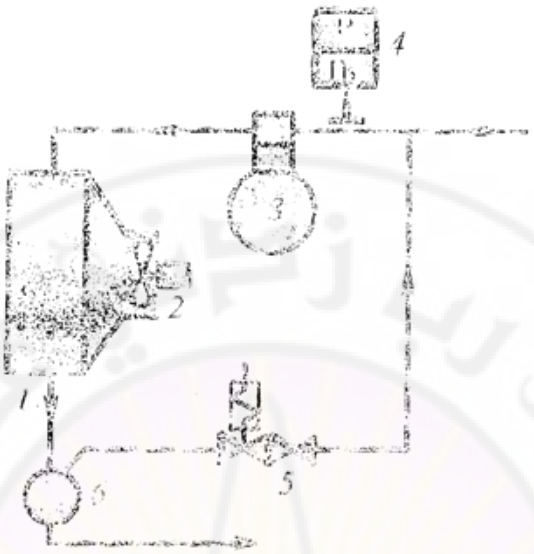


الشكل (١٨-١٤): تنظيم ضغط التكاثف بالريقة الغمر

٩-١٤- تنظيم إنتاجية المضاغط:

إن تنظيم إنتاجية المضاغط ضروري لتكون متوافقة مع الحمل الحراري على مبخر التجهيزات التبريدية. إن استخدام المجموعات المركبة الجاهزة لتنظيم الإنتاجية غير مناسب تصميمي (يتعقد تصميم المضاغط وثقل وتوقيته).

تنظيم الإنتاجية في المضاغط الصغيرة يستخدم نظام خارجي. إن أكثر الطرق انتشاراً تنظيم إنتاجية المضاغط هي التشغيل والإيقاف بمساعدة ريليه ترموستاتية أو ريليه ضغط منخفض انظر الشكل (C).(١٤-٢٠). عند خدمة عدة أمكنة مبردة بضاغط واحد تنظم إنتاجية التبريدية بطريقة تحويل بخار وسيط التبريد من جهة الضغط العالي إلى أنبوب السحب الشكل (١٤-١٩). لتجنب زيادة تسخين المضاغط يؤخذ البخار من الجزء العلوي للخزان وليس من أنبوبة الدفع. يبلوغ درجة الحرارة المطلوبة في احدى الأمكنة المبردة التي تستخدم الجهاز التبريدي التجاري، يفصل المبخر بوساطة صمام كهرطيسي مركب على خط السائل قبل صمام التنظيم الحراري بمساعدة ريليه ترموستاتية. اثناء ذلك ينخفض ضغط السحب وتقوم ريليه الضغط المنخفض بفتح الصمام الكهرطيسي على خط التحويل، ويتدفق بخار وسيط التبريد من الخزان إلى انبوب السحب بعد أن يخنق بصمام تنظيم ويعود ضغط السحب إلى القيمة المطلوبة.



الشكل (٤-٣٠): مخطط تخطيطي لتجهيز الثلج بطريقة التمرير

١: مكثف ٢: مبرد هوائي ٣: مضغط ٤: ريش ضاغط

٥: صمام تنظيم ارتفاع سائل ٦- خزان ٧: صمام كهرطيسي

٤-٩-٤- إزالة الثلج عن المبخرات:

إن تبعات الثلج على سطح المبخرات يساعد في العمل الفعال و الموثوق للجهاز التبريدي ويخلق الظروف ، لاستقرار أنظمي درجة الحرارة والرطوبة النسبية، خلال يومين أو ثلاثة تتشكل طبقة غير كبيرة من الثلج تخفض معامل الانتقال الحراري بشكل كبير ، بالنتيجة ذلك تسوء المؤشرات الاقتصادية لعمل آلة التبريد.

إن طبقة الثلج في خزائن التبريد بسماكة (3-4 mm) تزيد من مصروف الطاقة الكهربائية بمعدل (50-60 %). عند سماكة ثلج 5mm على السطح الأبي بشكل حركة حرارية للهواء ينخفض معامل الانتقال الحراري بمعدل 20% .

إن تشكل الثلج على سطح المبرد الهوائي يؤدي إلى زيادة مقاومته الإيروديناميكية بمعدل ٤ إلى ٥ مرات. المقاومة الإيروديناميكية ΔP مقدرة بـ (kg/m^2) تحسب بالعلاقة التالية:

$$\Delta P = 113L/d_e(w/\rho)^{1.7} \qquad (٤-٣٠)$$

إذ: L- عمق مبرد الهواء m.

d : القطر المكافئ لمقطع مبرد الهواء (m) .

W : سرعة حركة الهواء في مقطع مبرد الهواء (m/sec) .

ρ : كثافة الهواء (kg/m^3) .

إن زيادة طفاة الثلج تؤدي إلى تخفيض معامل انتقال الحرارة بالجدران بنسبة تتراوح بين (15-20 %)، وكذلك تختلف درجة حرارة الهواء بين بداية ونهاية مقطع المبرد بحيث تتناقص بتناقص معامل انتقال الحرارة، وتزداد معامل التشغيل الزمني للآلة المبردة، وبالتالي المصاريف الاستثمارية، إضافة إلى ذلك تزداد درجة الحرارة في الحيز المبرد، مما يؤثر على مصروف تخزين المنتجات.

لتأمين استثمار فعال للتجهيزات المبردة من الضروري إزالة الثلج عن سطوح المبخرات.

ثمة طرق عدة لإزالة الثلج عن المبخرات :

١ - الإزالة بحرارة الهواء المحيط.

٢ - الإزالة بمسخنات كهربائية.

٣ - الإزالة ببخار وسيط التبريد الساخن.

٤ - الإزالة بالتروية بالماء.

إن مرور الزمن يعد أكثر الوسائل انتشاراً لاعتماده على إيقاف الآلة، أي أن عملية التبخير تتم حتى فرض زمنية محددة وفق الشركة من واحد إلى عدة مرات في اليوم، وتكون الآلة مجهزة بمؤقت زمني يعمل على وجود عدة محددة لإزالة طفاة الثلج بالزمن، أي يمكن أن يتم الفصل بشكل من زمنية متزامنة، ولكن تبقى الأسباب فيما إذا كانت الآلة يمكن أن تستمر أكثر أو أقل من المطلوب، عندما تكون دورة الآلة أكثر من المطلوب تخسر طاقة زائدة للتبخير والتبريد الذي يليه وتزداد تراكم درجة الحرارة في الحيز المبرد، وعندما تكون دورة الآلة أصغر من المطلوب فإن الثلج لن يذوب فيما يخص مشكلة المبرد جانبية على التبخير وهذا يؤدي إلى زيادة كبيرة بالمقاومة الحرارية التراكمية للثلج.

إن أكثر الأسباب ملائمة هو الذي يتم فيه إعطاء إشارة بانتهاء الإزالة عند درجة حرارة على سطح المبخر أعلى من درجة حرارة ذوبان الثلج.

١ - الإزالة بالثلج بحرارة الهواء المحيط:

[illegible] درجة الحرارة المتوسطة. إن أكثر الطرق ببساطة وفعالية هي إزالة الثلوجات بمساعدة وإيقاف صمام منخفض الضغط بالتحكم بعمل المبخر (الشكل ٧٠-١٤).

[illegible] يتم في [illegible] الثلوجة [illegible] يسبب [illegible] وإيقاف [illegible] التبريد هي ضرورية لدخول بخار الهواء الدافئ [illegible] الغرفة المبردة وكذلك تبخر الهواء الخارجي (عندما يكون الباب المبرد مفتوحاً) وهذا يسبب تجمد الثلج.

عند ارتفاع الضغط الواقع [illegible] يرتفع [illegible] الذي يوافق درجة حرارة وسيط تقريباً في المبخر [illegible] وإيقاف [illegible] منخفض الضغط. وتكون هذه الطريقة تستخدم عادة عندما تكون درجة الحرارة في المبرد لا تقل عن 3°C.



شكل (٧٠-١٤): مخطط [illegible] المبرد [illegible] درجة الحرارة [illegible] بمساعدة وإيقاف صمام منخفض الضغط.

١: المبخر ٢: [illegible] ٣: وإيقاف منخفض الضغط

بدلاً من وإيقاف الضغط المنخفض المستخدمة في آلات التبريد ذات المواقع تستخدم في آلات التبريد ذات الضاغط المغلق وإيقاف درجة حرارة المبخر الشكل (٧١-١٤).

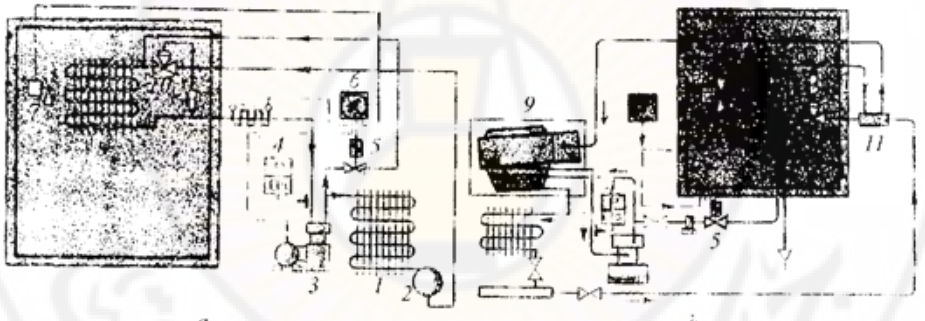


لإذابة السبخرات فإنّ ريليه الزمن المبرمجة تشغل الصمام الكهرطيسي مرتين باليوم مدة (30-40 Min) لتتدفق الأبخرة الساخنة لوسيط التبريد الى المبخر وتشغل السخان الكهربائي وتوقف المروحة.

إذا كان الضاغط أثناء ذلك متوقفاً فإنّ الضغط في خط السحب يرتفع وتقوم ريليه الضغط المنخفض بتشغيل الضاغط.

لتحويل السائل إلى بخار في المبخر يمكن استخدام حرارة الأبخرة الساخنة المضغوطة بالضاغط خلال وقت عمل الإذابة في دورة التبريد.

الأبخرة تعطي الحرارة للسائل المبرد الموجود في وعاء خاص الشكل (b،٢٢-١٤). هذا الوعاء يعد مركما حراريا يتوضع بشكل سائل ويحوي على غلاف، يتوضع في الغلاف الذي يصب فيه سائل غير قابل التجمد ملف (مبادل حراري) تساق عبره الأبخرة الساخنة لوسيط التبريد من الضاغط إلى المكثف. عند ذلك فإنّ السائل في غلاف المركم يسخن.



a b

الشكل (٢٢-١٤): مخطط إذابة مبخر جهاز تبريد بخاري بخار وسيط التبريد الساخن

a: مع سخن كهربائي على خط السحب ؛ صمام كهرطيسي على خط الدفع

١: مكثف ٢: خزان ٣: مناشل ٤: ريليه ضغط منخفض ٥: صمام كهرطيسي

٦: ريليه زمن مبرمجة٧: مروحة ٨: مبخر ٩: مركم ١٠: صمام تنظيم ترموستاتي ١١: مبادل حراري

يساق وسيط التبريد من المكثف عبر مبادل حراري وصمام تنظيم ترموستاتي إلى المبخر. يقوم الضاغط بسحب أبخرة وسيط التبريد المتشكلة في المبخر عبر السائل الحراري والمركم.

وفق إشارة ريليه الزمن المبرمجة يفتح الصمام الكهرطيسي وتتوقف مروحة المبخر، اي أن الآلة تتحول من دورة التبريد إلى دورة الإذابة. أبخرة وسيط التبريد تتدفق من الضاغط إلى

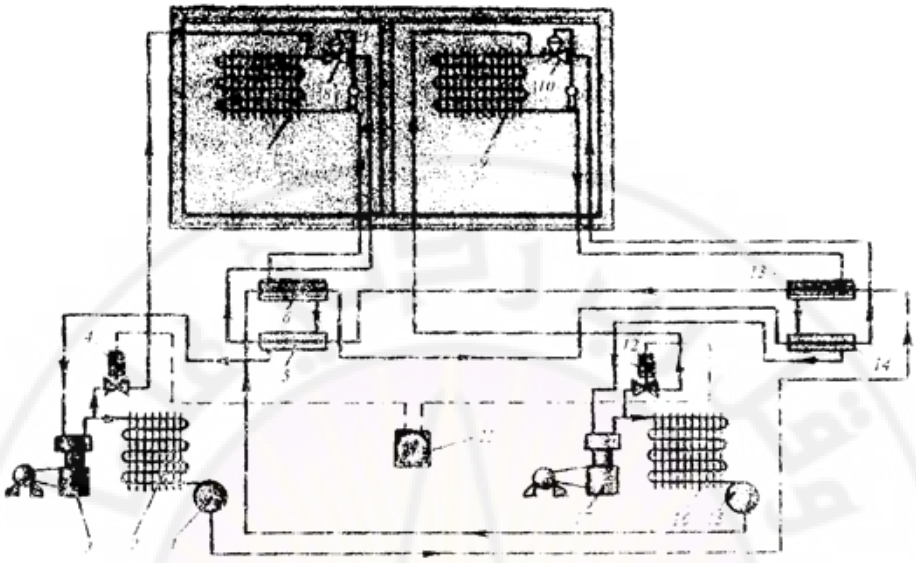
"المبخر" من "الصمام الكهرطيسي" حيث تتحقق "الوظيفة" بتوافر ثلاثة شروط: يتحقق "سائل وسيط التبريد" من المبخر إلى المركم الحراري المزود بوصلة مبخر إلى جزأين، يدعى وسيط التبريد السائل في الجزء الأيمن للمركم ويتوخر. بهذا الشكل تجري عملية الاضاغط من "الخدمة الكهربائية".

يتم تسخين انبوبة الاضاغط وحوض المبخر بوساطة أنبوب ابخرة وسيط التبريد المتحدة كي لا يتجمد الماء المذاب فيما بعد إذابة المبخر. تقوم ريليه الزمن بتحويل الآلة إلى نظام "التبريد" إذ يغلق "الصمام الكهرطيسي" وتشغل "المروحة".

لتجنب وصول سائل وسيط التبريد المتكاثف في المبخر الضاب إلى انضاغط يمكن استخدام فاصل سائل يركب على أنبوب السحب بين المبخر والضاغط. يساعد النظام ذو "المركم الحراري" الإضافية بمقارنة "التجهيزات التبريدية" ذات "الحرارة المنخفضة" إن "سعة" هذا النظام هي تحقيد التصميم وخدمة "المركم الحراري".

النظام الاقتصادي والفعال لإذابة مبخرات "التجهيزات التبريدية" الخدمة بالتي تبرد موضح بالشكل (٣٣-١٤). يحصل "التراكم" بين أنبوب "المبادل الحراري الثانوي" بخرج المبخر وبالفراغ بين أنابيب "المبادل الحراري الأساسي" لحدى أنبي التبريد، يتصل مذنب "المبادل الحراري الثانوي" بالغزال وبملف "المبادل الحراري الأساسي" للآلة الأخرى. إن فتح "صمامين كهرطيسيين" لإذابة مبخري "التبريد" يتم أي وإنهاء مخطئين بمساعدة ريليه زمن مزدوجة أبرنامج، أي أنه عند تحويل إحدى آلتي التبريد إلى نظام الإذابة فإن الآلة الأخرى تعمل في دارة تبريد عادية.

عند عمل آلة التبريد الأولى في دورة الإذابة (أنظر إلى الوقت العمل لآلة التبريد الثانية في دورة التبريد) فإن أبخرة وسيط التبريد المضغوطة بالضاغط ٢ تدفع عبر انبوب مع "صمام كهرطيسي ٤" إلى المبخر ٧ إذ تعمل كمبادل حراري وينضب النظر. أما أبخرة وسيط التبريد المتكاثف جزئياً خليط السائل والبخار يدخل إلى "التراكم" بين أنابيب "المبادل الحراري الثانوي" ١٠



الشكل (٢٣-١٤): نظام آلية مبخرات التجهيزات التبريدية المخدمة بآلتي تبريد

١،١٥: خزان ٢،١٦: مكثف ٣،١٧: ضاغط ٤،١٢: صمام كهرطيسي

٥،٦،١٣،١٤: مبادل حراري ٧،٩: مبخر ٨،١٠: صمام تنظيم ترمو ستاتي ١١: وليبة زمن

مزدوجة البرامج

يجري في هذا المبادل الحراري تبادل حراري كثيف. بدلاً من التبادل الحراري بين السائل وأبخرة وسيط التبريد (بدون تغير حالة المجموعة) الذي يتم عادة في المبادل الحراري الإسترجاعي لآلة التبريد العادية. يجري غليان السائل وتسخين بخار وسيط التبريد الخارج من المبخر المذاب ١.

لإنجاز هذه الإجراءات تصرف حرارة سائل وسيط التبريد القادم من الخزان ١٥ للآلة الثانية. تسحب أبخرة وسيط التبريد من الفراغ بين أنابيب المبادل الحراري الثانوي٦ بوساطة الضاغط ٣ عبر الفراغ بين أنابيب المبادل الحراري الأساسي ٥. في المبادل الحراري ٥ لا يتم تبادل حراري، لأنّ سائل وسيط التبريد لا يتدفق في ملف المبادلين الحراريين ٥ و ١٣ بسبب المقاومة الهيدروليكية الكبيرة جداً لصمام التنظيم الحراري ٨ بالمقارنة مع الصمام الكهرطيسي ٤.

في بداية دارة المبخر (دارة تبريد الأولى) يجري في آلة التشغيل تبريد معدل وسيط التبريد في نقطة التبادل الحراري الثانوي (دارة الأولى) معطياً حرارة لسائل وسيط التبريد الراجع في الفراغ بين الأنابيب والقادم من المبخر لنظام دارة التبريد الأولى.

يبرد السائل وسيط التبريد إضافي في هذا التبادل الحراري (بالبخرة وسيط التبريد الكائن بين الفراغ بين أنابيب هذا التبادل من المبخر (عبر الفراغ الكائن بين أنابيب التبادل الحراري الثانوي ١٣.

بهذا الشكل يجري في التبادل الحراري الثانوي من ناحية أولى تبريد وتحويل البخرة وسيط التبريد القادم من المبخر للمكثف، مما يؤمن سحب جاف للبخرة وسيط التبريد التي ستدخل المضغط في نظام الإذابة على حساب ارتفاع انتهائي لبخرة وسيط التبريد على مدخل المبخر. من ناحية أخرى فإن السائل القادم من خزان الآلة الأخرى العاملة في نظام التبريد يبرد بشكل إضافي مما يرفع الإنتاجية التبريدية للآلة وذلك بدون صرف طاقة إضافية من الخارج.

يشكل التبادل الحراري كذلك نتيجة كون وسيط التبريد المتدفق خلال واحدة الزمن في الآلة العاملة على نظام الإذابة اكبر منه في الآلة العاملة في دورة التبريد العادية. إن هذا سيرتبط بعمل الضاغط عند ضغط دفع اكثر انخفاضاً وضغط سحب اعلى، أي عند نسبة انضغاط اقل.

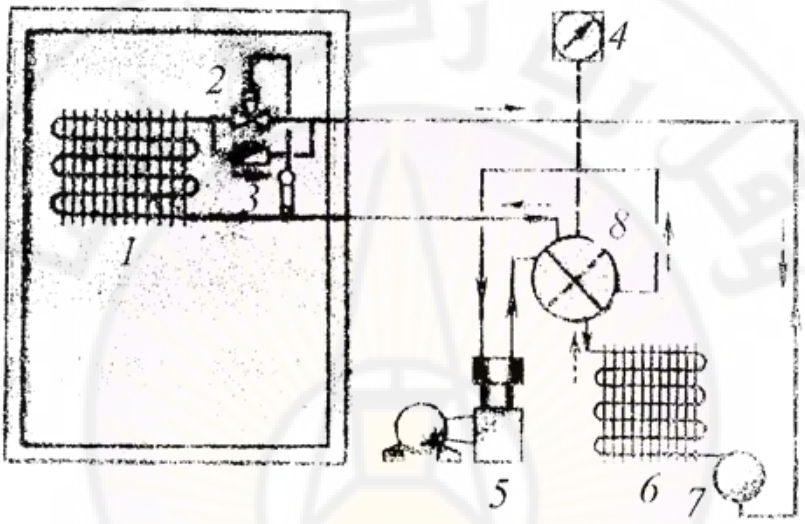
إن دخول المبادلات الحرارية الثانوية إلى آلة التبريد يرفع من اقتصادية عملها ويجنب وصول سائل وسيط التبريد إلى الضاغط وتخريبه نتيجة الصدمة الهيدروليكية ويرفع من الإنتاجية التبريدية لإحدى الآلتين عند إذابة مبخر الآلة الأخرى. بهذه الحالة فإن إذابة المبخر تتم بشكل فعال دون التأثير على وسيط التبريد على مدخل المبخر. بدلاً من المبادلات الحرارية الثانوية يمكن أن تستخدم في آلة التبريد أنواع مختلفة من فواصل السائل (مبادلات حرارية سطح بسطح).

يبين الشكل (٢-١٤) مخطط لإذابة المبخرات ذات الدورة الحرارية المتضمنة وسيط التبريد السائل في المبخر يسأل إلى المكثف ويكون في بخار الأمر الذي يستلزم استهلاك طاقة إضافية.

حتى التبادل يوساطة وسائط تحول إلى التقليل إلى أقل حد من زيادة الحمل الحراري الناتجة أثناء فترة الإذابة تعمل آلة التبريد في نظام المضاغة الحرارية، ناقل الحرارة من

الوسط المبرد وتعطيها عبر المبخر للثلج (اتجاه حركة وسيط التبريد ووضعية صمام التحويل الآلي للنظامين موضحة بأسهم منقطة).

وطريقة الإذابة هذه مناسبة اقتصاديا للتجهيزات ذات درجات الحرارة المنخفضة ولكن مخطط صمام التحويل الآلي للنظامين معقد.



شكل (٢٥-١٤): مخطط طريقة تبخير بوساطة صمام تحويل آلي للنظامين.

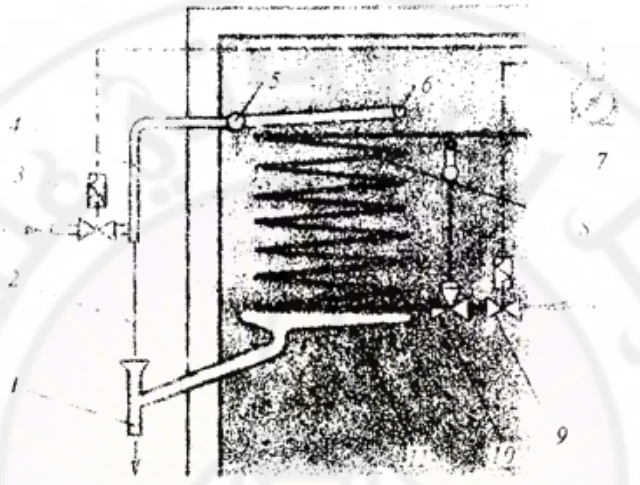
١: مبخر ٢: صمام تنظيم ترموستاتي ٣: صمام عدم رجوع ٤: ريليه زمن مبرمجة
٥: ضاغط ٦: ملف ٧: خزان ٨: صمام تحويل آلي للنظامين

٤- إذابة الثلج بطريقة التروية بالماء:

إن نظام إذابة الثلج عن المبخر بالتروية بالماء موضح على الشكل (٢٥-١٤). وهو يسمح بزيادة شدة الإجراء لأن معامل انتقال الحرارة من الماء إلى الثلج أكبر بكثير منه بين الهواء والثلج.

يساق سائل وسيط التبريد إلى المبخر عبر صمام تنظيم ترموستاتي، يتوضع قبله صمام كهرطيسي يتوضع في المبخر أنبوب ذات سلك يتحد المجمع بخروج الماء. يوصل بالمجمع أنبوب ماء مع صمام كهرطيسي. يتوضع تحت المبخر حوض يتصل في أسفله أنبوب تصريف. لإذابة المبخر يستخدم ماء من شبكة المدينة أو من أنبوب الماء الموصل بأنبوبة مخرج المكثف.

عند ذلك فإن درجة حرارة ماء التروية يجب أن تزيد عن (25-30 °C). إن استخدام الماء بدرجة حرارة أعلى يؤدي إلى تصعيد تمديد للمبخر مما يسبب مصروف إضافي البرد عند العودة إلى إجراء التبريد. من السهل أتمتة إجراء الإذابة عند التروية بالماء.



الشكل (٢٥-١٤): مخطط نظام اذابة المبخر بالتروية المائية.

١: انبوب تصريف ٢: خط نازل ٣: صمام مائي كهرطيسي ٤: أنبوب ماء
٥: مجمع ٦: أنابيب تروية ٧: رباية زمن مبرمجة ٨: مبخر
٩: صمام فريون كهرطيسي ١٠: صمام تنظيم ترموستاتي ١١: حوض المبخر

وفق إشارة رباية الزمن المبرمجة تتوقف مروحة المبخر ويغلق صمام الفريون الكهرطيسي ويفتح صمام الماء الكهرطيسي.

يساق الماء عبر أنبوب إلى المجمع ومنه إلى أنابيب التروية. تسيل الماء عبر ثقوب في الأنابيب مبللا المبخر المغطى بالثلج. تسيل الرطوبة المتشكلة الى الحوض ومنه الى انبوب التصريف.

بانتهاء الإذابة يغلق الصمام الكهرطيسي للماء ويفتح صمام الفريون الكهرطيسي وتتروحة. إن الماء المتبقي في أنابيب التروية يصرف عبر انخفاض الثلج إلى انبوب التصريف.

طريقة إذابة المبخر بالتروية بالماء فعالة وأكثرها مرتبطة بصعوبات عملية كبير. اهم هذه الصعوبات هي حماية أنابيب تغذية الماء والتصريف من التجمد، وأيضا صدأ المبخر والحوض.

Damascus University

... درجة حرارة غليان -12°C لوسيط التبريد R12 الذي تنظم تغذيته بواسطة صمام تنظيم ...
... ترموستاتي ذي تمدد داخلي يتحكم بضغط 284 Kpa تقريباً (١٤-٢٥٥ب). ضغط التبخير ...
... والذي يساوي 50 Kpa يمنع R12 من التبخر بشكل كامل في الفتحة ... يتدفق بالفتحة إلى بداية ...
... بداية الحركة بعد الإقلاع يمتلئ R12 يستمر في الفتحة ... إلا بتوضع تبخيه ...
... الحرارة لصمام التنظيم الترموستاتي إلى درجة حرارة 3°C تقريباً ... يؤدي غلق الفتحة إلى ...
... زيادة التسخين تشكل 8°C.

الضغط في الأسطوانة الحرارية المؤثر على الغشاء من الأعلى يساوي عندئذ 268 Kpa. هذا الضغط يفوق مجموع ضغط وسيط التبريد في المبخر وضغط النابض المؤثر في الغشاء المرن من الأسفل.

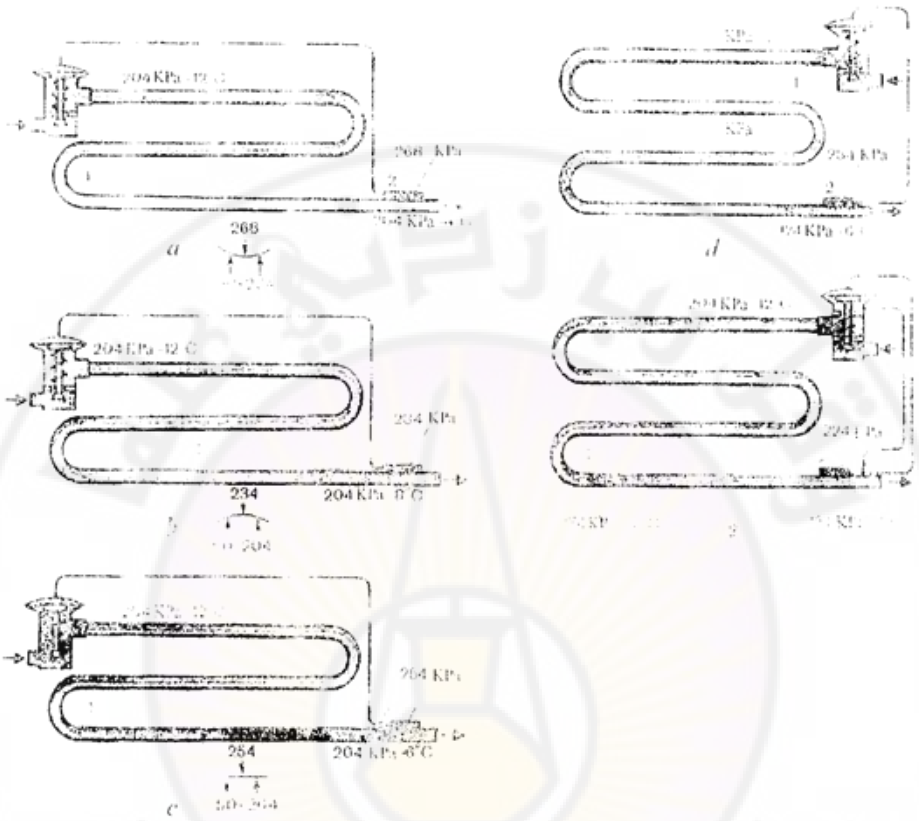
عند ذلك ينحني الغشاء المرن للأسفل ويفتح الصمام أكثر وتزداد بذلك كمية وسيط التبريد القادمة إلى المبخر عبر صمام التنظيم الترموستاتي وبالتالي يقل تسخين البخار. إذا كانت درجة حرارة بخار R12 في المبخر عند الأسطوانة الحرارية تساوي 8°C- (زيادة التسخين تشكل 4°C) فإن الضغط المؤثر في الغشاء من الأعلى يساوي 234 Kpa . هذا الضغط أقل من مجموع ضغط وسيط التبريد في المبخر والنابض (254 Kpa).

الغشاء يتحرك بشكله الأصلي ويغلق صمام التنظيم الترموستاتي مانعاً بذلك تدفق R12 إلى المبخر (١٤-٢٥ب).

إذا انخفض إلى المبخر كمية وسيط تبريد بشكل أكبر عندما ترتفع الحرارة فتصل إلى درجة حرارة مساوية 6°C- (زيادة التسخين عند ذلك 6°C) فإن الضغط المؤثر في الغشاء من الأعلى سوف يساوي مجموع الضغطين المؤثرين من الأسفل ويرتفع الغشاء بحيث تزداد وتتسخن إلى المبخر كمية ثابتة من R12 الشكل (ج ٢٦-١٤).

مما سبق يتضح أنه كلما كان نابض الصمام الترموستاتي مضغوطاً أكثر كلما كانت كمية وسيط التبريد القادمة إلى المبخر أقل.

إن حركة وسيط التبريد عند توقف المضاغط تنقطع وترتفع درجة الحرارة في جميع نقاط المبخر وتزول زيادة التسخين ويغلق صمام التنظيم الترموستاتي.



الشكل (٢٦-١٤): مخطط عمل صمام التنظيم الترموستاتي ذو التعادل الداخلي.

a: صمام تنظيم ترموستاتي مفتوح

b: صمام التنظيم الترموستاتي مغلق

c: الغشاء المرن لصمام التنظيم الترموستاتي بحالة توازن

d: صمام التنظيم الترموستاتي يغذي مبخرا ذا مقاومة هيدروليكية كبيرة

e: صمام تنظيم الترموستاتي ذو تعادل خارجي

تستخدم صمامات التنظيم الترموستاتي ذات التعادل الخارجي من أجل تغذية وسيط التبريد لبعض مبردات الهواء الحلزونية أو تغذية المبخرات التي يكون انخفاض الضغط فيها اكبر من القيم المدرجة في الجدول (١-١٤).

الجدول (١-١٤): انخفاض ضغط وسيط التبريد في المبخر (Kpa كقيمة دنيا).

وسيط التبريد	درجة حرارة غليان وسيط التبريد، °C				
	-5	-7	-18	-29	-40
R12	١٨	١٠	٧,٠	٥,٠	٣,٥
R22	٢١	١٤	١٠	٧,٠	٥,٠
R502	٢١	١٧	١٢	٩,٠	٧,٠

إذا استخدم صمام التنظيم الترموستاتي ذو التعادل الداخلي لتغذية المبخر الذي يشكل انخفاض الضغط فيه 30 Kpa (الشكل (١٤-٢٦.d)) فإنه عند درجة حرارة الغليان -12°C تقسيبا على المخرج من الجهاز يكون درجة حرارة وسيط التبريد في النقطة ١ إذ يتحول السائل وكامله إلى بخار مساوية لـ -16°C، أي أنها تقابل ضغط إشباع (174 Kpa = 30-204). لكي يقع غشاء صمام التنظيم الترموستاتي بحالة توازن يجب ان تسخن البصيلة الحرارية حتى درجة حرارة -6°C، عند ذلك فإن الضغط فيها يكون 254 Kpa، وهذا يوافق زيادة تسخين 10°C بدلاً من 6 C مما يخفض الإنتاجية التبريدية للمبخر.

لذلك عند انخفاض ضغط وسيط التبريد في المبخر إلى 30 Kpa يستخدم صمام تنظيم ترموستاتي ذو تعادل خارجي الشكل (١٤-٢٦.c). إذا كان وسيط التبريد يغلي في المبخر عند درجة حرارة -12°C (ضغط وسيط التبريد 204 Kpa)، عند درجة حرارة الاشباع في النقطة ١ الشكل -16°C، فإن ذلك يوافق ضغط 174 Kpa أي (٣٠-٢٠٤). هنا الضغط ينقل عبر خط التعادل إلى ما تحت غشاء صمام التنظيم الترموستاتي. من أجل حالة التوازن للغشاء يجب أن يكون الضغط فوقه مساوياً لضغطي وسيط التبريد تحت الغشاء و الناضح، أي 224 Kpa (١٧٤+٥٠)، وهذا يوافق درجة حرارة للبصيلة الحرارية -9°C وزيادة تسخين وسيط في المبخر 3°C.

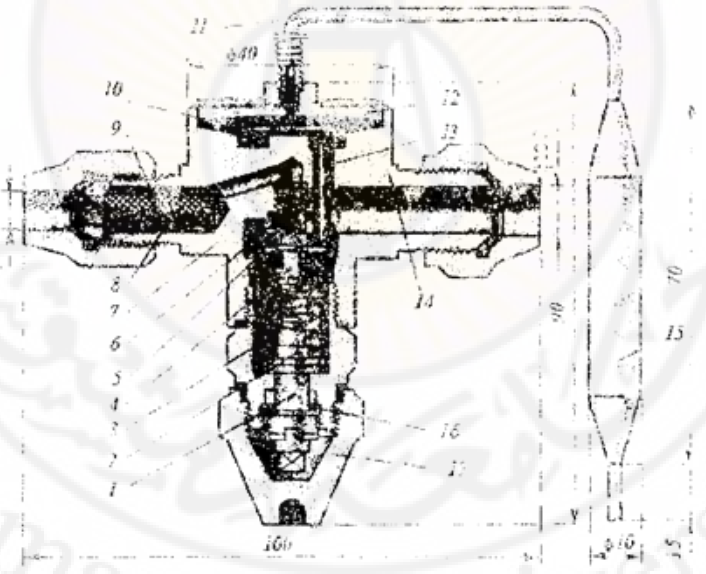
- *صمام التنظيم الترموستاتي طراز (TPB - M) و (TPB - B 22) (روسيا):*

في صمام التنظيم الترموستاتي ذي التعادل الداخلي طراز TPB - M يكون نظام التحسس الحراري مملوء بوسيط التبريد R12، أما في الصمام ذو طراز TPB – B 22 فيكون مملوءا بوسيط التبريد R22.

صمامات التنظيم الترموستاتي طراز TPB - 0.5 M ، TPB - 1 M ، TPB – 2 M ، TPB – 4 M تختلف بمقياس فتحة الصمام و بالإنتاجية التبريدية، يتألف نظام التحسس

الحراري لصمامي التنظيم الترموستاتي TPB – M و 22TPB – B الشكل (٢٧ ١٤) من بصيلة حرارية أنبوبة شعرية وتجويف فوق الغشاء.

عند ازدياد درجة حرارة التسخين لأبخرة وسيط التبريد الخارجة من المبخر ترتفع درجة حرارة البصيلة "الحرارية" المثبتة على أنبوب السحب عند المبخر ويرتفع الضغط في نظام التحسس الحراري لصمام التنظيم الترموستاتي. الغشاء ينثني ويضغط على الدوافع التي تؤثر في حامل الإبرة ، يضغط النابض وتتزاح الإبرة للأسفل، يزداد مقطع المرور بين الإبرة والمقعد وينثني وسيط التبريد إلى صمام التنظيم الترموستاتي عبر الفلتر الموضع في فوهة الدخول ثم ينثني في الصمام ويملأ الهيكل ، الحيز تحت الغشاء، ليصل وسيط التبريد إلى المبخر عبر فوهة الخروج. عند فتح الصمام تبقى الإبرة مزاحة للأسفل ، ثم تضغط في نظام التحسس الحراري المؤثر في الغشاء من الأعلى أكثر من ضغط وسيط التبريد في هيكل صمام التنظيم الترموستاتي وتنابض.



الشكل (٢٧-١٤): صمامي التنظيم الترموستاتي مع أجزائها الداخلية النوع TPB – M و 22TPB – B

١: برغي تعيير ٢: جلبة مصارنة ٣: نابض ٤: إبرة الصمام ٥: داخل الإبرة
٦: سعف الصمام ٧: الهيكل ٨: الفلتر ٩: فوهة الدخول ١٠: الغشاء المرن (الحجاب)
١١: الأنبوبة الشعرية ١٢: رأس الصمام ١٣: دافع ١٤: فوهة الخروج ١٥: بصيلة حرارية
١٦: حافة بالنحاة لبرغي العيار ١٧: غطاء

عند توقف الضاغط بتوقف حركة ازاحه وسيط التبريد بتجاه المبخر وتتساوى درجة الحرارة على جوانب المبخر بدرجة حرارة غليان وسط التبريد، اي ان زيادة التسخين تزول، أما التصميم يخلق بقوة التابض.

يعبر الجهاز بمعادلة برمي سحكم بطقة مانعة. الغلاف الواقي يحمي من التسربات المحتملة لوسيط التبريد عبر الطبقة المانعة ويمنع تأثير الطبقة.

٢-١١-١٥- رؤيه درجة الحرارة:

تستخدم رؤيه درجة الحرارة في التجهيزات التبريدية الصغيرة لتنظيم درجة الحرارة في الحيز المبرد عن طريق تشغيل وإيقاف ميكانيزم التشغيل (مثلاً الصمام الكهربائي قبل صمام التمدد الترموستاتي) أو بطريقة تشغيل وإيقاف الضاغط.

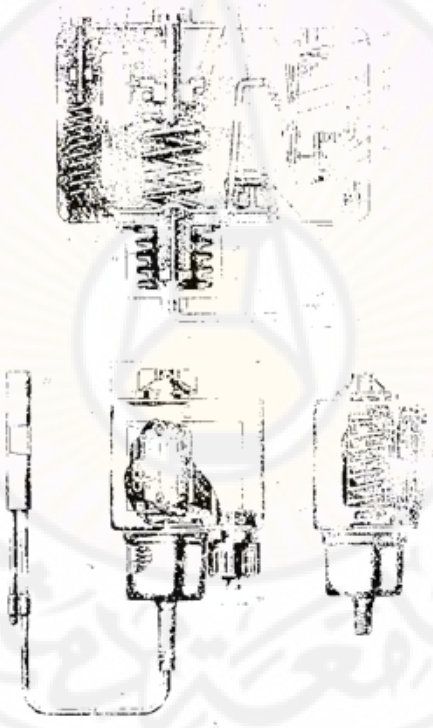
رؤيه درجة الحرارة ليا TP:

يتألف نظام التحسس الحراري لهذه الرؤيه من بصيلة حرارية، أنبوبة شعرية، منفاخ وغلاف المنفاخ الشكل (٧٨-١٥) توجد في نظام التحسس الحراري مادة مائلة.

تتمضن الحصيلة الحرارية في الوسط المراد التحكم به بمثابي درجة حرارته التي يتعلق بها ضغط المادة المائلة. قوة ضغط المادة المائلة المؤثرة على المنفاخ تتعادل مع قوة التقوه المرزن القابض. عند ازدياد درجة حرارة الوسط يزداد الضغط في نظام التحسس الحراري ويضغط (يتقلص) المنفاخ ويتحرك بالتالي الذراع الداعم لداعلى مغلب على قوة النابض ويدور الذراع الزاوي ١٧ وفق عقارب الساعة حول المحور، عندما تصل النهاية السرة للجزء الأفقي للذراع الزاوي ذي النهاية المحنية في لقمة ذراع التوازن يبدأ تأثير النابض التفاضلي عليه. إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى قيمة التفاضل المحددة فإن الذراع ١٧ يتغلب على قوة النابض التفاضلي وبالتالي الذراع ٩ والنابض ١٢ يدور ذراع التحويل (التبديل) ١٣ للمجموعة التلامس، اي اللحظة التي يتقاطع عندها المحور الهندسي للنابض مع المحور الهندسي لذراع التحويل يتم انقلاب (مي) مناجل لامسة التلامس وبالنتيجة تغلق التلامسات.

نابض الانقلاب يتصل من الطرف العلوي مع الجزء المنحني للذراع الزاوي ٩ بشكل مفصلي، ويتصل من النهاية السفلى بثقب (عين) الذراع ١٢ الذي يثبت بقوة هذا النابض على المسند السكينة لأسطوانة التلامس المتحركة.

عند انخفاض درجة حرارة الوسط المتحكم به ينخفض الضغط في نظام التعبئة الحراري وتنزاح النهاية المتحركة للمنفاخ مع الدافع نحو الأسفل تحت تأثير النابضين ٨ و ٢٣، عندئذ تدور الذراع ١٧ بعكس عقارب الساعة، أما ذراع الميزان باتجاه عقارب الساعة عندما يصل ذراع الميزان حتى النهاية يتوقف تأثير النابض ٢٣ في الذراع ١٧ ويزاح الذراع ١٧ بعد ذلك تحت تأثير النابض الأساسي. في الأحظة التي ينطابق فيها محور نابض الانقلاب مع محور أسطوانة التلامس فإن التلامسات تفصل بشكل مفاجئ.



الشكل (١٨-١٤): ريليه درجة الحرارة طراز TP - 1 - 02 x

١: مخطط ؛ ٢: التركيب

١: الدائل ٢: برغي عيار الثقاطة ٣-٧: صامولة ٤: مقياس ٥: أسطوانة مرقمة
٦: برغي عيار السجل ٨ : نابض أساسي ٩-١٣-١٧: ذراع ١٠: أسطوانة
١١-١٦: برغي عيار ١٢: نابض الإنقاشين ١٤-١٥: تلامسات ١٨: نابض ١٩: منفاخ
٢١: نابض المنفاخ ٢٢: ذراع ميزان ٢٣: نابض تقاسي ٢٤: بدسية حرارية ٢٥: جوبة معدنية

يزود الثنائي بالسكونة وهو في نفس المجال. المؤشر مربوط بالسلموة ويبين على المقياس ضغط فصل التلامس.

التفاضل يعبر بواسطة البرغي لتحديد قيمة "التفاضل" بين درجة ضغط التنابض الأساسي لتحديد درجة الحرارة التي يتم عندها فصل التلامسات. درجة شد التنابض ٢٣ لتحديد قيمة التفاضل. فصل التلامسات في ريليه درجة الحرارة عند انخفاض درجة الحرارة الشرائية إلى القيمة المحددة في مجال المقياس. عندما فصل التلامسات عند ارتفاع درجة الحرارة هذه إلى قيمة التفاضل المحددة.

٢-١١-٢-٩- ريليه وصمامات الضغط:

تستخدم في التبريد التجارية الصغيرة عند انخراف الضغط عن القيم المطلوبة أجهزة تغيير الضغط والحماية (ريليه ضغط، صمامات التدابير التالية، منظمات ضغط تكاثف وسيط التبريد).

ريليه الضغط:

إن ريليه الضغط المنخفض مخصصا للتدابير ثانوي الوضع لضغط وسيط التبريد في المبخر أو لحماية الضاغط من الضغط المنخفض في خط السحب. أما ريليه الضغط المرتفع تحمي الضاغط من ارتفاع ضغط وسيط التبريد في خط الدفع.

الشكل (٢٩-٢٩) يبين ريليه ضغط منخفض وحيدة الكتلة دلزاز PD – 101 تتجه أنبوبة وسيط التبريد RI من خط السحب عبر أنبوبة نحاسية ذات قطر خارجي 6mm تصل فوهة صمام السحب الضاغط بفوهة الجهاز وتملأ الحيز بين الغلاف والمنفاخ.

عند ارتفاع الضغط المراقب لوسيط التبريد يضغط المنفاخ ويزاح الدافع للأعلى. أما الذراع الزاوي يدور حول المحور باتجاه عقارب الساعة.

عند عمل ميكانيزم الريليه يتم التغلب على مقاومة نابض عيار المجال، بوصول النهاية الحرة للجزء الأقصى من الذراع إلى نتوء ذراع التفاضل ينضغط نابض عيار التفاضل إلى العمل. عند الاستمرار بارتفاع ضغط وسيط التبريد فإن الذراع الزاوي يتغلب على مقاومة نابض عيار المجال وبمساعدة نابض الانقلاب يدور شوكة تحويل التلامس.



الشكل (٢٩-١٠) رسم تخطيطي لمضخة الكباس المحورية ذات المحور المائل

...ة الأسطوانة تتلامس مع محور الفواصل من جهة الشكل يقلب اتجاه دفع الكباسين وتسمى ...الكباسين. الأجزاء النهائية للكباسين موصلة مفصليا مع الجزء الأمامي للذراع الزاوي، أما النهاية ...السفلى موصلة بمسمار القلب الذي تتلامس قوة هذا التفاعل مباشرة مع المساند السكينية ...الشكل المضاعف المضروب.

...ك الكباس الدافع الأسطوانة المراقب بتمدد السفلي ومزيح الدافع باتجاه الأمثل. عند ذلك دحت تأثير ...الإيجابي ٥ و ١٠ دور الذراع الزاوي ٥ في المحور يمكن التحكم بتغيير الزاوية ٨ للذراع ٢ يدور حول المحور باتجاه عقارب الساعة. عندما يميل الذراع ٣ إلى اليمين يتعدم تأثير النابض ٥ في الذراع ٥ الزاوي والذراع ٥ بذلك تحت تأثير النابض ١٣.

...ي أسطوانة تتأرجح محور الفواصل ٥ ... من محور الموازنة التعويض لكن لك أمس يتصل فجأة.

درجة ضغط النابض ١٣ تحدد ضغط انفصال النابض. أما في سبابة تصدد الكباسين ٥ تحداد الكفاءة. النابض ١٣ يزود به الموازنة بزيادة عيار. المؤشر مثبت بالمعايرة ويبين على

المقياس ضغط انفصال التلامس، بمساعدة البرغي ٧ يتم تغيير التفاضل الذي تم [illegible] بالمؤشر على المقياس ٦ . [illegible] (٢) [illegible] عند [illegible] ينخفض [illegible] إلى [illegible] التي [illegible] .

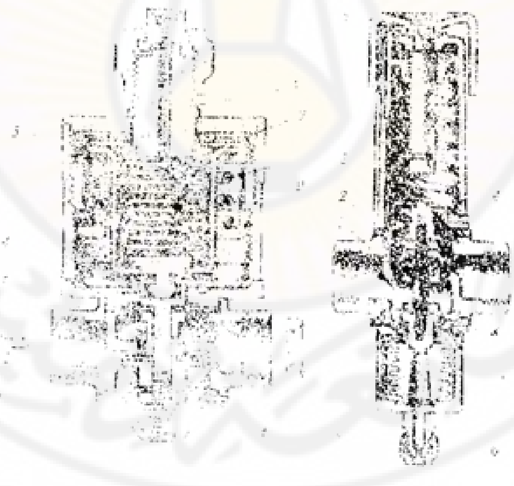
تصنع [illegible] الضغط المنخفض (LP) [illegible] (PI) [illegible] التحسين الإضافي [illegible] المتقلبة للضغط تحوي القوهة على [illegible] تحقق [illegible] الضغط.

٤-١١-١٤-٥ منظمات التكاثيم المائية:

يتم [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

ويتم المفتاح [illegible] في [illegible] المبين الشكل (٤-٢-١٤) لا يوجد فيه [illegible] تكاثف وسط التبريد.



الشكل (٤-٢-١٤) [illegible]

[illegible] 015 [illegible] 2045 [illegible] 8 [illegible]

١: الغلاف ٢: صمام ٣: دافع ٤: غشاء ٥: غلاف المفتاح

٦: فوهة لوصل الأنبوبة الشعرية ٧: المفتاح ٨: نابض ٩: [illegible]

[illegible] ([illegible]) [illegible]

عند ارتفاع ضغط التكاثف تتمدد المنفاخ ويهبط غلافه للأسفل ضاغطاً على النابض، يتراجع الدافع للأسفل بعيداً الصمام عن المقعد ويتدفق الماء عبر الصمام إلى المكثف.

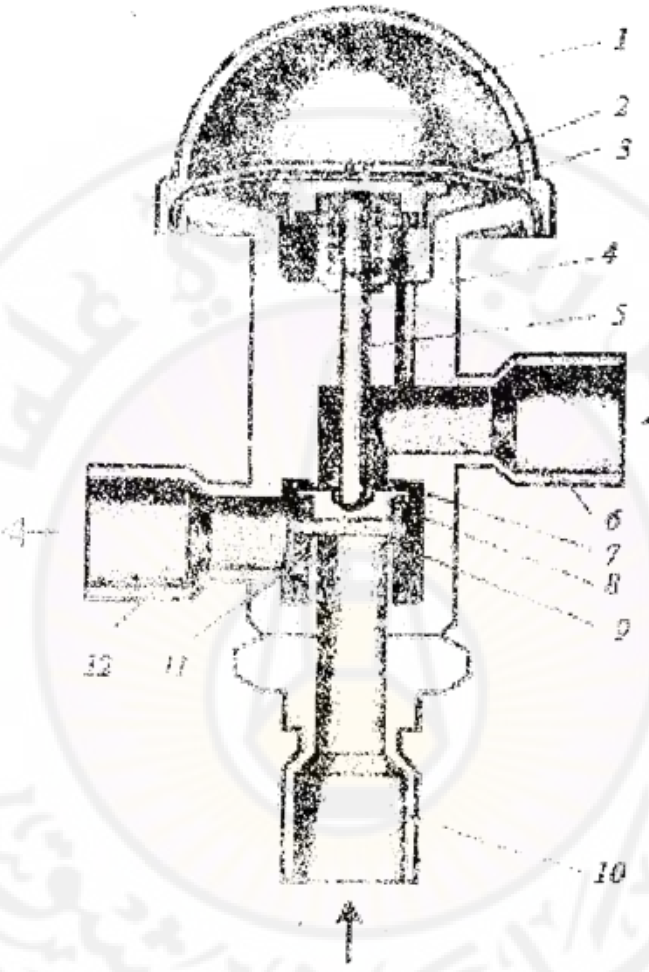
بنتيجة انخفاض الحمل الحراري على المكثف أو انخفاض درجة حرارة الماء ينخفض ضغط تكاثف وسيط التبريد فيتمدد النابض ويزيح غلاف المنفاخ للأعلى ويرتفع الدافع مع الصمام فيقل مقطع المرور ويقل مصروف الماء.

بعد توقف الضاغط ينقفل الصمام على المقعد ويتوقف تدفق الماء. عند ذلك يسمح بتسرب الماء عبر الصمام المغلق بمعدل 5% من كمية الماء المارة عبر المكثف أثناء عمل الضاغط. يجري عبر الصمام بوساطة صمامون عبر. ويساعده غشاء من التفليون المطاطي يكسون الصمام بوضع الاحمل. أي ان عمله لا يتعلق بضغط الماء.

٥-١١-١٤- منظمات ضغط التكاثف:

تستخدم منظمات ضغط التكاثف لتنظيم ضغط تكاثف وسيط التبريد في مضخات التبريد ذات المكثف الهوائي الموضع خارجاً.

الشكل (١٤-٣١) يبين منظم ضغط تكاثف طراز HP شركة Alco controls الأمريكية. يملأ راس المنظم من الاعلى بغاز خامل. يفصل راس المنظم عن الجزء المائي من الاجهاز بغشاء. الدافع يربط القطر المرتكز على الغشاء مع الصمام الذي يستقر فيه النابض من الأسفل. الفوهة ٦ متصلة مع خط الدفع والفوهة ١٢ متصلة مع الخزان والفوهة ١ مع أنبوبة السائل للمكثف الهوائي.



شكل (٢-٢٠): مقطع عرضي بالكاشف غرز FET (٢٠٠٨)

١: الزجاج، ٢: النظير، ٣: الغلاف، ٤: الجسم، ٥: الفوهة،

٦-١٠-١٢: فوهات، ٧: معقد علوي، ٨: مسمار، ٩: معقد سفلي، ١١: نابض

في الفترة الأولى من الرحلة عندما يكون ضغط الكاشف عالي يكون المعقد في الوضع العلوي مغلقاً بذلك المقعد العلوي لأن بخار وسيط التبريد القادم من خط الدفع عبر الفوهة ٦ وعبر فتحة في الجسم يضغط الغشاء للأعلى، سائل وسيط التبريد يتجه من المكثف إلى الأنزان عبر الفوهة ١٠ و الفرجة بين المعقد السفلي و المسمار عبر الفوهة ١٢.

في الفترة الباردة من السنة عندما ينخفض ضغط التكثيف وتزويد المكثف بكمية من سائل التبريد عبر صمام التمدد الحراري الذي يزود المبخر بكمية السائل المناسبة لحمولة التبريد وعند ذلك يفتح المقعد العلوي.

بنتيجة ذلك تتوقف حركة وسيط التبريد من المكثف على الخزان، أما بخار وسيط التبريد عبر الفوهة ٦ والمقعد العلوي والفوهة ٧٢ للجهاز يتجه إلى الخزان فيزداد فيه ضغط وسيط التبريد حتى القيمة الأصغرية (0.81 ± 0.07 Mpa) للفريون R12 و 1.34 ± 0.09 Mpa للفريون R22 و 1.38 ± 0.09 Mpa للفريون R502).

٢-١١-١٤- "الصمامات الكهربطيسية (سولنويد) Solenoid Valves .

تتنامى الصمامات الكهربطيسية للأجهزة الآلية ذات التأثير المباشر والتأثير المتوسط الكهربائي. الصمام الكهربطيسي مخصص للفتح والإغلاق الآليين لمرور وسيط التبريد أو الحامل الحراري أو الماء في الأنابيب.

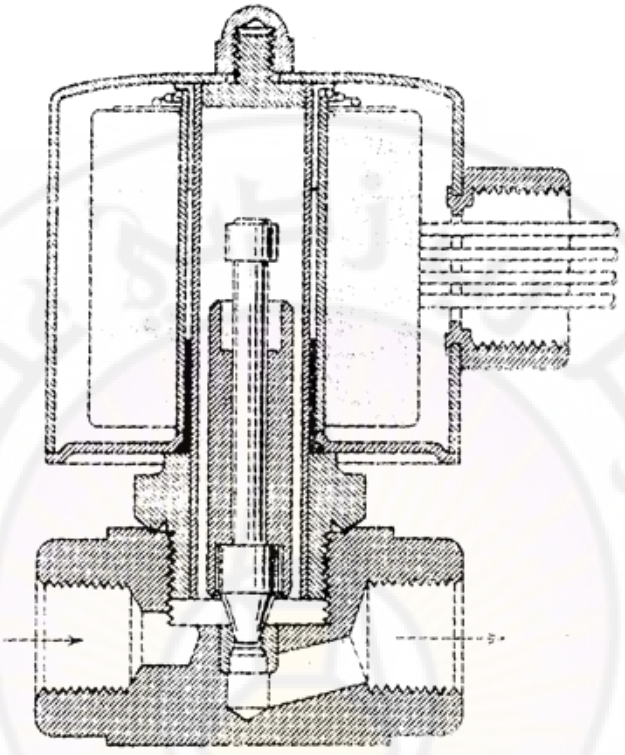
يتألف الصمام الكهربطيسي بشكل أساسي من أسلاك نحاسية معزولة وقلب حديدي (مخرض) ينجذب إلى داخل الحقل المغناطيسي الكهربائي عند مرور التيار الكهربائي في لفة شيعة. يوصل سلك الصمام بالمخرض فإن فتحة الصمام يمكن أن تفتح أو تغلق حسب كون الوشيعة مارة بها التيار الكهربائي أو مفصولة عن مصدر التوتر.

يمكن تصنيف الصمامات الكهربطيسية إلى نوعين :

١- صمامات كهربطيسية مباشرة التأثير .

٢- صمامات كهربطيسية غير مباشرة التأثير .

الصمامات الكهربطيسية الصغيرة تكون عادة من النوع ذي التأثير المباشر الشكل (١٤-٣٢).



الشكل (٢٢-١٤): صمام كهرطيسي مباشر التأثير

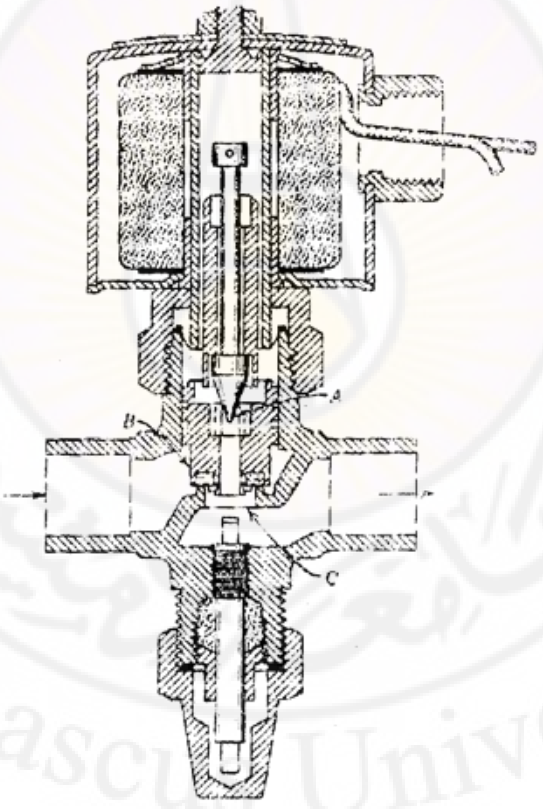
إن معظم الصمامات الكهرطيسية يكون من النوع ذي التأثير غير المباشر الشكل (٢٣-١٤).

في الصمام ذي التأثير المباشر تكون ساق الصمام مربوطة بالمتحرض وتتحكم بفتحة الصمام الرئيسية مباشرة. أما في الصمام ذي التأثير غير المباشر فإن المتحرض يتحكم بفتحة الدليل. عندما تكون الوشيعة موصولة بالتيار الكهربائي فإن المتحرض يندفع إلى داخل الحقل المغناطيسي الكهربائي وتفتح فتحة الدليل ٨، إن ذلك يحدث عدم التوازن بالضغط عبر المكبس. الضغط الأعلى تحت المكبس يجبر الأخير على الحركة باتجاه الأعلى فاتحاً بذلك فتحة الصمام الرئيسية).

عندما تكون الرئيسة مفصولة عن التيار الكهربائي فإن المتحرض يسقط خارجا من الحقل الكهربائي ويغلق فتحة الدليل، وفي الحال يتشكل ضغط فوق المكبس الرئيسي، مما يجعل المكبس يسقط ويغلق فتحة الصمام الرئيسية.

الصمام الكيرطيسي يجب أن يركب دائما بوضع شاقولي أي تكون الوشيعة في الأعلى. يستثنى من ذلك حالات التصميم الخاصة للوضع الأفقي.

عند اختيار الصمام الكيرطيسي فإن حجم الصمام يحدد عن طريق التدفق المطلوب، خلاله وليس عن طريق قياس الأنبوب الذي سيركب عليه الصمام. ويجب أيضا الأخذ بالحسبان فرق الضغط الأعظمي المسموح عبر الصمام والهبوط الضغط خلاله.



الشكل (٣٦-١٤)

صمام كيرطيسي غير مباشر التأثير

الملاحق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق – ١ – عوامل طرح الحرارة للضواغط المفتوحة

درجة الحرارة في المبخر °C	درجة حرارة التكثيف °C					
	32	38	43	49	54	60
-34	1.33	1.42	1.47			
-29	1.33	1.37	1.42	1.47		
-23	1.28	1.32	1.37	1.42	1.47	
-18	1.24	1.28	1.32	1.37	1.41	1.47
-12	1.21	1.24	1.28	1.32	1.36	1.42
-7	1.17	1.20	1.24	1.28	1.32	1.37
-1	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27	1.32
5	1.12	1.15	1.17	1.20	1.23	1.28
10	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.24

Damascus University

الملحق -٧- عوامل طرح الحرارة للضواغط المغلقة

درجة الحرارة في المبخر C°	درجة حرارة التكثيف C°					
C°	32	38	43	49	54	60
-40	1.66	1.73	1.80	2.00		
-34	1.57	1.62	1.68	1.80		
-29	1.49	1.53	1.58	1.65		
-23	1.42	1.46	1.50	1.57	1.64	
-18	1.36	1.40	1.44	1.50	1.56	1.62
-15	1.33	1.37	1.41	1.46	1.52	1.59
-12	1.31	1.34	1.38	1.43	1.49	1.55
-9	1.28	1.32	1.35	1.40	1.46	1.52
-7	1.26	1.29	1.33	1.37	1.43	1.49
-4	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.45
-1	1.22	1.25	1.28	1.32	1.37	1.42
5	1.18	1.21	1.24	1.27	1.31	1.35
10	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29

Damascus University

الملحق – ٣ – المكثفات المبردة بالماء – السعة والمواصفات الهندسية

قياس الملف	عدد الأنابيب	الطراز	مساحة السطح	السعة الاسمية (25-35) C° 39 C°		درجة حرارة الماء (30-35)C° درجة حرارة التكثيف 41 C°	
				4 pass	2 pass	4 pass	2 pass
٥ (0.2m OD)	40	8-1.2	6.8	14.0		25.6	
		8-1.5	8.7	24.2		37.2	22.4
		8-1.8	10.5	35.1		49.8	32.8
		8-2.1	12.4	46.2			43.3
		8-2.4	14.2	57.8	31.5		54.3
		8-2.7	16.1	69.4	41.3		65.8
		8-3.0	17.9	81.8	51.9		77.9
		8-3.4	19.8	94.4	62.7		90.6
		8-3.7	21.6	107.3	73.5		103.7
		8-4.0	23.4		84.6		
		8-4.3	25.3		96.0		
		8-4.6	27.1		107.3		
		8-4.9	29.0		118.9		

Damascus University

[illegible] درجة حرارة [illegible] (30-35)°C درجة حرارة التكثيف 40°C		[illegible]		مساحة السطح	الطول	عدد الأنابيب	قياس الغلاف
2 pass	4 pass	2 pass	1 pass				
	38.[illegible]		30.9	10.2	10-1.2		
33.5	33.[illegible]		36.1	13.0	10-1.5		
[illegible]9.3	[illegible].8		52.6	15.8	10-1.8		
65.6			69.4	18.6	10-2.1		
81.8		47.2	86.[illegible]	21.3	10-2.4		
98.6		61.9	104.2	24.1	10-2.7		
116.9		7[illegible].9	122.5	26.8	10-3.0	60	10 (0.25m OD)
13[illegible].[illegible]		90.9	1[illegible]1.6	29.6	10-3.3		
155.6		[illegible]0.2	16[illegible].3	32.4	10-3.7		
		126.9		35.1	10-4.0		
		144.0		37.9	10-4.3		
		16[illegible].3		40.7	10-4.6		
		178.5		43.3	10-4.9		

السعة التبريدية KW

2 pass (درجة حرارة الماء (30-35) C°، درجة حرارة التكثيف 40 C°)	4 pass	2 pass ((35-30) C°، 39 C°)	1 pass	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	88.8		32.6	18.7	12.12		
81.6	88.4		58.7	20.0	12.15		
75.3	144.6		87.8	24.2	12.18		
99.8			16.3	28.4	12.21		
125.4		[illegible]	132.9	32.7	12.24		
151.4		94.9	159.7	36.9	12.27		
179.3		119.5	188.3	41.2	12.30		
208.2		144.2	217.8	45.4	12.34		
238.7		169.2	247.2	49.7	12.37	92	[illegible]
		194.8		53.9	12.40		
		220.8		58.2	12.43		
		246.9		62.4	12.46		
		273.5		66.7	12.49		
		301.9		70.9	12.52		
		327.7		75.2	12.55		
		356.0		79.3	12.58		
		384.4		83.6	12.60		

قياس الغلاف	عدد الأنابيب	الطراز	مساحة السطح	القدرة الاسمية KW (25-35) C° 39 C°		درجة حرارة الماء (30-35)C° درجة حرارة التكثيف 40 C°	
				4 pass	2 pass	4 pass	2 pass
14 (0.55m OD)	120	14-1.2	20.4	41.8		76.9	
		14-1.5	26.0	72.5		111.5	67.3
		14-1.8	31.5	105.3		149.4	98.3
		14-2.1	37.1	138.5			130.0
		14-2.4	42.5	173.4	94.4		163.3
		14-2.7	48.1	202.2	123.8		197.4
		14-3.0	53.7	245.4	155.6		233.7
		14-3.4	59.2	283.8	188.1		270.9
		14-3.7	64.8	322.5	220.6		312.2
		14-4.0	70.3		253.9		
		14-4.3	75.8		288.2		
		14-4.6	81.7		322.5		
		14-4.9	87.0		356.0		
		14-5.2	92.4		392.2		
		14-5.5	98.0		428.3		
		14-5.8	103.6		464.4		
		14-6.0	109.1		503.1		

قياس الغلاف	عدد الأنابيب	الطراز	مساحة السطح	السعة الاسمية (25-35) C° 39 C°		KW درجة حرارة الماء (30-35)C° درجة حرارة التكثيف 40 C°	
				4 pass	2 pass	4 pass	2 pass
91 (0.4m OD)	164	16-1.2	28.0	57.3		105.0	
		16-1.5	35.5	99.3		152.2	92.1
		16-1.8	43.1	144.0		204.1	134.2
		16-2.1	50.1	189.4			177.8
		16-2.4	58.2	236.8	129.0		223.2
		16-2.7	56.8	283.8	169.2		270.9
		16-3.0	73.4	335.4	212.9		319.9
		16-3.4	80.1	387.0	257.2		371.5
		16-3.7	88.5	441.2	301.9		425.7
		16-4.0	96.0		348.3		
		16-4.3	103.7		394.7		
		16-4.6	111.2		441.2		
		16-4.9	118.7		487.6		
		16-5.2	126.3		536.6		
		16-5.5	133.9		585.7		
		16-5.8	141.5		634.7		
		16-6.0	149.0		686.3		

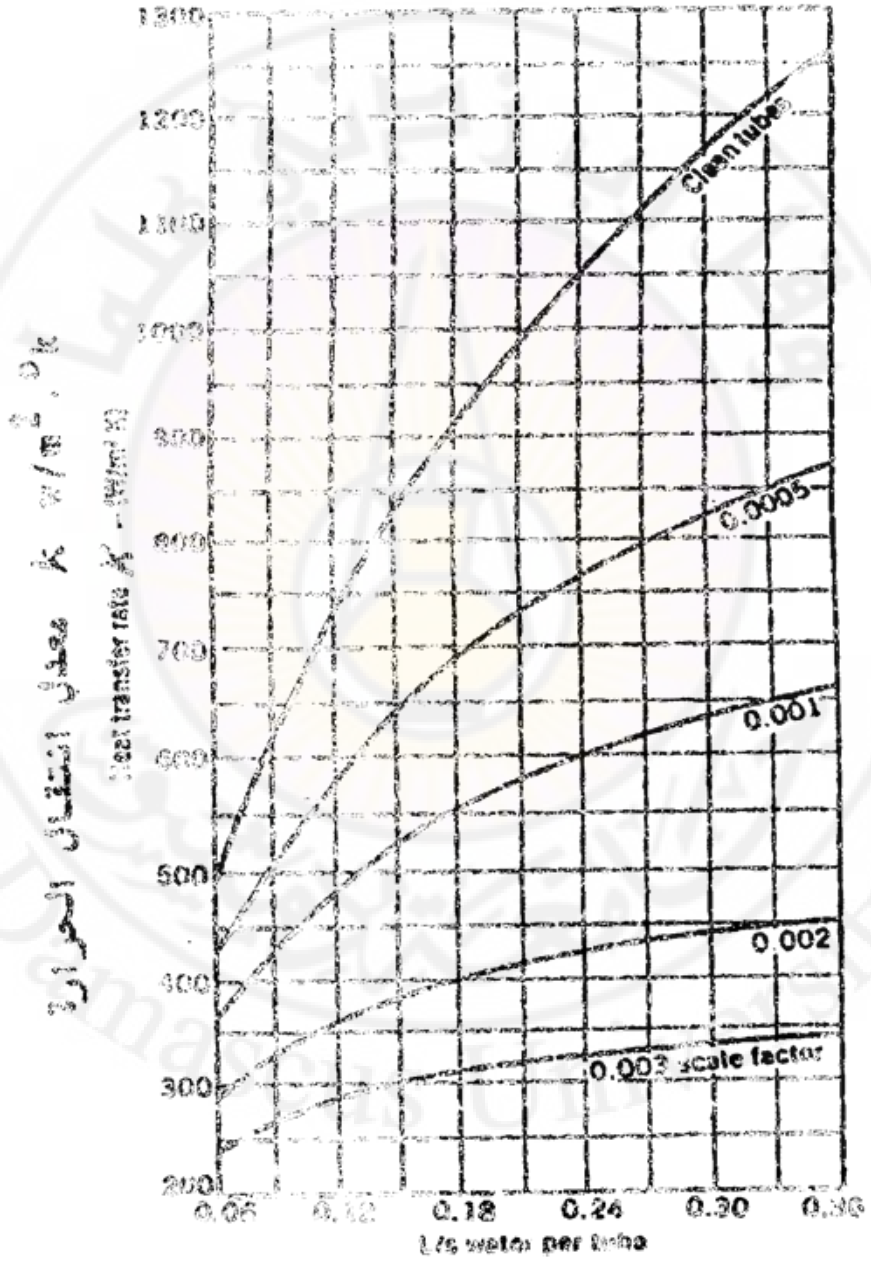
Damascus University

الملحق – ٤ – عوامل تشكل القشور والترسبات Scale Factor

أنواع المياه	درجة حرارة الماء أقل من 50°C	
	سرعة الماء أقل من 1 m/s	سرعة الماء أكبر من 1 m/s
- ماء البحر	0.0005	0.0005
- ماء ضعيف عذب Brackish	0.002	0.001
- ماء نهر أو بحيرة [illegible]	0.001	0.001
بالرغم مياه التعويض المعالجة		
- مياه التعويض غير المعالجة	0.003	0.003
- مياه [illegible]	0.001	0.001
- مياه الدوبرات	0.001	0.001
- مياه الأنهار الناعمة	0.002	0.001
مياه صدئة Muddy	0.003	0.002
- مياه مسرة	0.003	0.002
- مياه شرب المدينة	0.001	0.001
- مياه مقطرة	0.0005	0.0005

جامعة دمشق Damascus University

الشكل – ٥ – عامل التقليل الحراري في المكثفات المبردة بالماء تبعاً لتراكم الأوساخ والقشور على الأنابيب



الملحق – ٦ كمية الحرارة الكلية (مقدرة بـ kw) المطروحة من المكثفات المبردة بالهواء من اجل $\Delta T=16^{\circ}k$ HD

تابع الملحق - ٦ - كمية الحرارة الكلية (بقدرة ب kw) المطروحة من المكثفات المبردة بالهواء من أجل TD=16°k

قيمة الرطوبة النسبية	نمط R12	نمط R22	نمط R502
كمية الحرارة الظاهرية الكلية بالكيلو كالوري/ساعة			
20	1.0	1.0	1.0
30	1.0	1.0	1.0
40	1.0	1.0	1.0
50	1.0	1.0	1.0
60	1.0	1.0	1.0
70	1.0	1.0	1.0
80	1.0	1.0	1.0
90	1.0	1.0	1.0

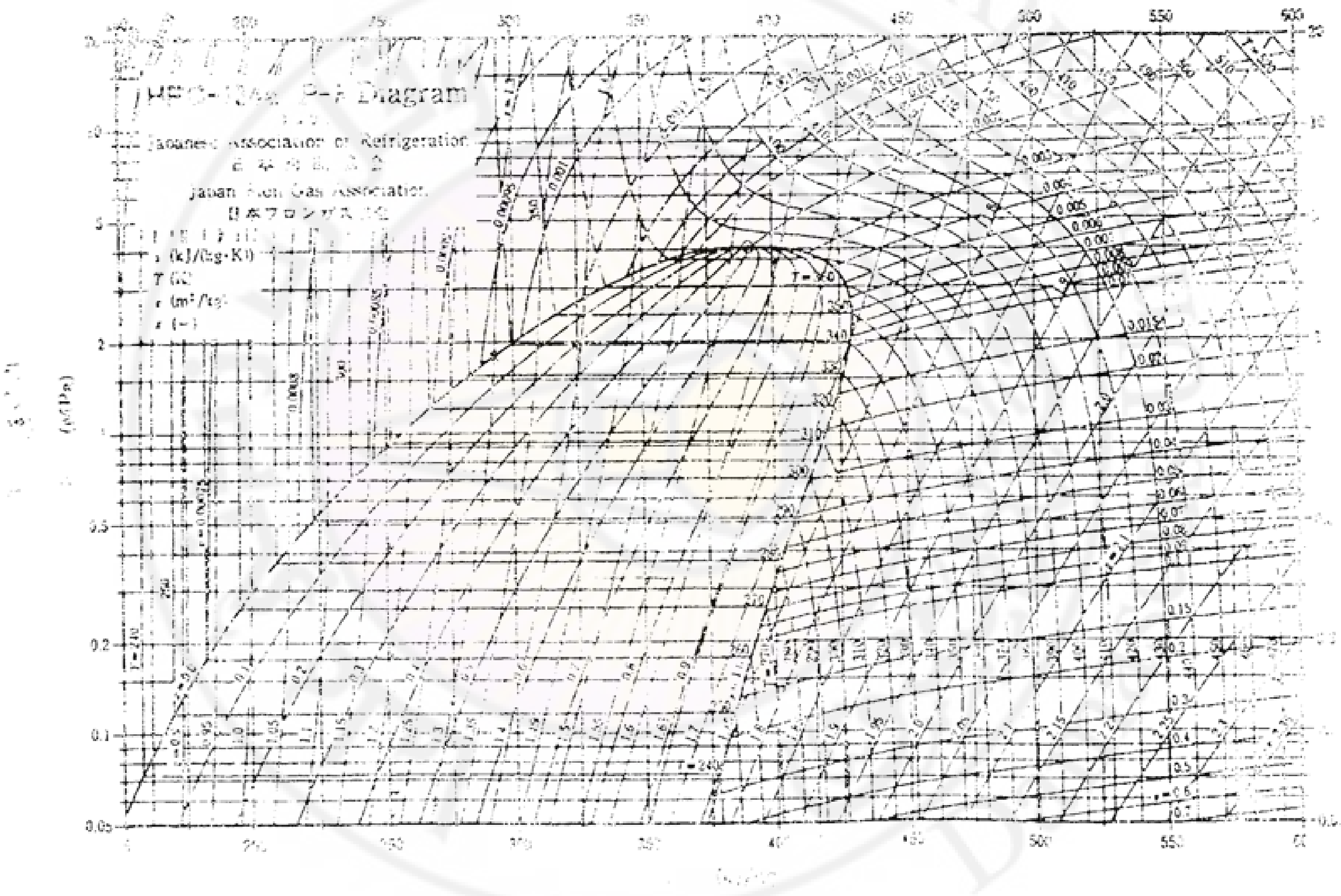
فرق درجات الحرارة (ΔT) التصميمي	معامل التصحيح
6 K°	2,67
8 K°	2,00
10 K°	1,60
12 K°	1,33
14 K°	1,14
16 K°	1,00
18 K°	0,89
20 K°	0,80
22 K°	0,73
24 K°	0,67

الملحق – ٨ – استطاعات أبراج التبريد الدوارية

قدرت الاستطاعات على أساس سرعة رياح ٤,٨ كم/سا

المدى 11°C، الاقتراب 7.5 °C

		Refrigeration Tons								
		0.33 lps per ton		0.26 lps per ton				0.195 lps per ton		
Tower (°C)		32.7	33.8	32.5	34	33.5	34.5	32	35	35.5
Basin (°C)		29.5	30.5	28	30	29.5	30.5	26.5	29.5	30
W.B (°C)		25.5	26.5	23.8	25.5	25.5	26.5	21	23.8	25.5
Tower No.	Nom L/s					(Nom)				
CSA 23	0.76	2.7	2.6	2.8	3.1	2.9	3.0	3.4	3.8	3.4
CSA 33	1.26	4.5	4.4	4.8	5.1	4.8	5.0	5.7	6.4	5.8
CSA 34	1.52	5.4	5.3	5.7	6.1	5.7	6.0	6.8	7.7	6.9
CSA 44	2.1	7.2	7.0	7.6	8.2	7.7	8.0	9.1	10.2	9.2
CSA 45	2.53	9.0	8.8	9.5	10.2	9.6	10.0	11.4	12.8	11.5
CSA 55	3.16	11.2	11.0	11.8	12.8	12.0	12.5	14.2	16.0	14.4
CSA 66	4.6	16.2	15.8	17.1	18.4	17.2	18.0	20.5	23.0	20.7
SA 33	1.4	5.0	4.8	5.2	5.6	5.3	5.5	6.3	7.0	6.3
SA 34	1.9	6.7	6.6	7.1	7.7	7.2	7.5	8.6	9.6	8.6
SA 44	2.53	9.0	8.8	9.5	10.2	9.6	10.0	11.4	12.8	11.5
SA 45	3.16	11.2	11.0	11.8	12.8	12.0	12.5	14.2	16.0	14.4
SA 46	3.8	13.5	13.2	14.2	15.3	14.4	15.0	17.1	19.2	17.1
SA 56	4.74	16.9	16.5	17.8	19.2	18.0	18.8	21.4	24.0	21.6
SA 58	6.4	22.5	22	23.7	25.5	24	25.0	28.5	32.0	29
SA 68	7.57	27	26	28	31	29	30.0	34	38	34
SA 610	9.47	34	33	36	38	36	37.5	43	48	43
SA 612	11.35	41	40	43	46	43	45.0	51	57	52
SA 615	14.2	50	49	53	57	54	56.3	64	72	64
SA 616	15.15	54	53	57	61	57	60.0	68	77	69
SA 618	17.1	61	60	65	70	65	67.5	77	87	78
SA 620	19	67	66	71	77	72	75.0	86	96	86
SA 624	23.8	81	79	85	92	86	90.0	103	115	104
SA 824	25.3	90	88	95	102	96	100.0	114	128	115
SA 1224	28.4	102	100	107	115	108	112.5	129	144	130
SA 1230	34.7	124	121	131	140	132	137.5	157	176	158
SA 1236	41	146	143	154	166	156	162.5	186	208	187
SA 1242	47.3	169	165	178	192	180	187.5	214	240	216
SA 1248	53.63	192	187	202	218	204	212.5	243	272	245
SA 1254	60	213	210	226	243	228	237.5	271	305	274



P-h Diagram
Japanese Association of Refrigeration
Japan Flon Gas Association
日本フロンガス協会
s (kJ/(kg·K))
T (K)
v (m³/kg)
x (−)
(MPa)

غرف وأماكن أخرى مبردة	درجة الحرارة الحسابية للهواء °C	درجة حرارة غليان وسيط التبريد المنصوح بها °C	الرطوبة النسبية للهواء %	عدد مرات تبديل الهواء حجم/ساعة	درجة حرارة المنتج		فترة المعالجة التبريدية ساعة	نظام التبريد المقترح	أجهزة التبريد المقترحة	ملاحظات
					عند الدخول	عند الخروج				
برادات توزيع سعة (٥٥) طن او أكثر										
تجميد	-30	-40	-	150-170	4	-20	20	مباشر هوائي	مبخر هوائي مصفوفة أنابيب هوائي	فترة ادخال واخراج اللحوم من ٢٠ الى ٣٠ ساعات متضمنة اذابة الغلاف الثلجي
حفظ بضائع مجمدة	-20	-30	97-100	-	-8	-20	-	مباشر بطارية او مختلط	طارية جدارية سقفية ومبخرات	
حفظ خضروات وفاكهة (طبوق - خازير ...)	-25 ÷ 30	-40 ÷ -35	92-100	-	-8	-20	-	مباشر بطارية او مختلط		
حفظ وتقديد بضائع مبردة	-3 ÷ +4	-2 ÷ -4 -10 ÷ -8	85 - 90	10-30	12	+4 ÷ 0	24 ÷ 12	مباشر		
حفظ لحوم مبردة	-2	-10 ÷ -8	-	10-30	8	0	24	مباشر	طاريات جدارية سقفية ومبخرات هوائية	
من اجل البضائع المبردة	-3 ÷ +4	-4 ÷ 10	85 - 95	10-30	12	-3 ÷ +4	24	مباشر		
من اجل البضائع المجمدة	-20	-30	95 - 100	-	-8	-20	24	مباشر		أجهزة تبريد الغرف العائمة يجب تصميمها على النظام المرحلي ضغط مضاعف
غرف تبريد قبل التجميد	0	-10	85 - 95	-	12	0	24	مباشر	كتلة بحد	
كذلك أيضا	-20	-30	95 - 100	-	-8	-20	24	مباشر	طارية جدارية وسقفية	
غرف تبريد قبل التجميد	-20	-30	95 - 100	-	-20	-20	-	مباشر	طاريات جدارية وسقفية	غرف تخزين التقريم تحضير لحفظ اللحوم المبردة



غرف وأقسام الغرف المبردة	درجة الحرارة الحسابية للهواء °م	درجة حرارة غليان وسيط التبريد المسموح بها °م	الرطوبة النسبية للهواء %	عدد مرات تبديل الهواء حجم/ساعة	درجة حرارة المنتج عند الدخول	درجة حرارة المنتج عند الخروج	فترة المعالجة التبريدية ساعة	نظام التبريد	نوع المبردات المقترحة	الملاحظات
حفظ لحوم [illegible] دهن (مدخنة)	-30 -25	-40÷-35	95-100	-	8-18	-8	24	مباشر	بطاريات سقفية [illegible] ومبخرات هوائية	
حفظ دهون داخل [illegible]	-20	-30	-	-	4	-18	24	مباشر	بطاريات سقفية وجدارية	
تجميد الدواجن [illegible]	-30	-40	-	150-170	8	-18	24	مباشر	مبخرات	
[illegible]	12	0	-	-	-	-	-	مباشر	بطاريات جدارية	
حفظ [illegible] مجمدة [illegible]	-20	-30	-	-	8÷-18	-18	-	مباشر	مبخرات هوائية [illegible]	
نفق تبريد الطيور	-5÷-3	-15÷-13	90	30	30	4	2/4	مباشر	مبخرات هوائية	فترة المعالجة في الصورة من أجل الطيور وفي المخرج من أجل الوز
غرفة تبريد الطيور	-5÷-3	-15÷-13	90	30	30	4	20	مباشر	مبخرات هوائية	
حفظ الطيور مبردة	-2	-10	90	-	4	2	-	مباشر	مبخرات هوائية وبطاريات جدارية	
تجميد الطيور	-30	-40	-	150-170	4	-18	16/24	مباشر	مبخرات هوائية	فترة المعالجة في الصورة من أجل الطيور وفي المخرج من أجل الوز
نفق من أجل تجميد الطيور	-30	-40	-	150-170	4	-18	[illegible]	مباشر	مبخرات هوائية	فترة المعالجة في الصورة من أجل الطيور وفي المخرج من أجل الوز

غرف وأماكن أخرى مبردة	درجة الحرارة الحسابية للهواء °م	درجة حرارة غليان وسيط التبريد المنصوح به °م	الرطوبة النسبية للهواء %	عدد مرات تبديل الهواء حجم/ساعة	درجة حرارة المنتج عند الدخول	درجة حرارة المنتج عند الخروج	فترة المعالجة التبريدية ساعة	نظام التبريد المقترح	أجهزة التبريد المقترحة	ملاحظات
حفظ السجق مجمدة	-20	-30	-	-	-18/-8	-20	4-6	مباشر	مبخرات هوائية وبطاريات جدارية	فترة المعالجة تعتمد على أبعاد الطيور وزمن الخروج من النفق
حفظ الطيور المجمدة	-25÷-30	-35÷-40	-	-	-18/-8	-25	-	مباشر	مبخرات هوائية وبطاريات جدارية	
تبريد وحفظ البيض	-2	-10	90	30	20	0	-	مباشر	مبخرات هوائية	
برادات صناعة الأسماك										
جمادات اتفاق التبريد الفعالة	-30÷-35	-40÷-42	-	150 – 170	5	-18 ÷ -20	4-حتى	مباشر	مبخر هوائي	
	-30	-40	-	100 – 150	5	-16 ÷ -18	5-حتى	مباشر	رفوف مبردة	
حفظ السمك مجمدة	-25÷-30	-35÷-40	80 – 90	0	-8 ÷ -15	-20 ÷ -25	24	مباشر	مبخرات هوائية أو جدارية	
عامة	-20÷0	-30÷-10	-	-	+5 ÷ -15	0 20	24	مباشر	مبخرات هوائية – بطاريات سقفية وجدارية	
حفظ أسماك مملحة بالملح	-5÷-2	-15÷-12	85 - 90	-	5	-2 ÷ -5	24	مباشر	مبخرات هوائية – مبخرات سقفية و جدارية	
حفظ بدون ملح في صناديق	-5÷-10	-15÷-20	85 – 90	-	0 – 2	-5 ÷ -10	24	مباشر		
مع ملح	-2	-12	85 – 90	10 – 30	5	-2	24	مباشر	مبخرات هوائية – بطاريات سقفية و جدارية	

غرف وأماكن [illegible]	درجة الحرارة الحسابية للهواء °C	درجة حرارة غليان وسيط التبريد °C	الرطوبة النسبية للهواء %	عدد مرات تبديل الهواء [illegible]	درجة حرارة المنتج عند الدخول	درجة حرارة المنتج عند الخروج	فترة المعالجة التبريدية ساعة	نظام التبريد المقترح	أجهزة التبريد المقترحة	ملاحظات
حفظ [illegible] ([illegible])	[illegible]	[illegible]	85	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	مباشر	مبخرات هوائية [illegible] بطاريات جدارية	
	-2÷0	-12÷-10	75÷80		15	2÷0	24	مباشر	بطاريات جدارية	
حفظ	-2÷0	-12÷-10	75÷80	10÷30	2	2÷0	24	مباشر	مبخرات هوائية [illegible] بطاريات جدارية	
غرف [illegible]	0	-10	90		-	-	-	مباشر	بطاريات جدارية	
[illegible]	0	-10	-		-	-	-	مباشر	بطاريات جدارية	
	5- حتى	-15	-		-	-	-	مباشر	بطاريات جدارية	
	[illegible] أقل من	-12	-		-	-	-	مباشر	بطاريات جدارية	
برادات صناعة الألبان										
حفظ [illegible] بزجاجات	0	-10	85		-	-	-	مباشر أو ملحي	مبخر هوائي + بطارية جدارية	
تبريد وحفظ الزبدة [illegible]	-8÷-6	-16÷-15	80÷85		15	0÷-3	24	مباشر أو ملحي	مبخر هوائي + بطارية جدارية	
	0	-10	85		15	6	24	مباشر أو ملحي	مبخر هوائي + بطارية جدارية	
حفظ كريما في براميل	1÷0	-10	85		15	5	24	مباشر أو ملحي	مبخر هوائي + بطارية جدارية	

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

غرف واسكن اخرى مبردة	درجة الحرارة الحسابية للهواء °C	درجة حرارة الوسط المنصوح بها °C	الرطوبة النسبية للهواء %	عدد مرات تبديل الهواء حجم/ساعة	درجة حرارة المنتج عند الدخول	درجة حرارة المنتج عند الخروج	فترة المعالجة التبريدية ساعة	نظام التجربة المقترح	أجهزة التجربة المقترحة	ملاحظات
	30	-40	-	-	-15	-18	24	مباشر	مقنية ومعمارية	
حفظ مجمد	30	-40	-	-	-20	-25	24	مباشر	مقنية ومعمارية	
	18	-30	-	-	-25		-	مباشر	مقنية ومعمارية	
مستودع جنين	0	-12	-	-	-15	0	24	مباشر أو غير مباشر	مقنية ومعمارية	
مشغل (معمل) إنتاج بوظة حتى ٥٠٠ طن في الوردية بوجود محطات تبريد										
تهيئة البوظة	18	-26	-	-	-4	-16	8 - 10	مباشر	مبخر هوائي	
حفظ البوظة	18	-26	-	-	-16	-18	24	مباشر	مبخر هوائي	
تخزين الخضار والفواكه										
تبريد أولي	0	-6	-	30 – 40	حسب فرق حرارة الهواء الخارجي	6	24	مباشر	مبخر هوائي	
حفظ فواكه وخضار	+15-1	-6	85 – 95	10 – 20	15	0	15 – 20يوما	مباشر	مبخر هوائي	
عنب	1	-6	85 – 95	10 – 20	6	0	حتى 3يوم	مباشر	مبخر هوائي	
تفاح	3- 0	-8	75	10 – 20	15	3	20+ يوما	مباشر	مبخر هوائي	
بطاطا	4 -2	-2	90 – 95	10 – 20	15	5	5-20حتى	مباشر	مبخر هوائي	
فواكه مجففة وجوز	+5-1	-6	75	10 – 20	12	3	5-10حتى			

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



15- Якобсон В.В." Малые холоделные машины", Москва, .Пищевая промышленность, 1977г.

16- Юдаев Б.Н" Техническая Термодинамика и теплопередача. Москва Вышая наука, 1988г.

17- Бухарин Н Н.и Дрг. Тепловые и конструктивные расчеты холодельнАЯ техникА" Ленинград, Машиностроение 1997гю

18- Данилов И.И. Абсорбционные халелные Машины", Москва. 1966г.

19- Малые халоделные устанвки и халодельный транспот, справочник, Москва. Пищевая промышленность. 1977г.

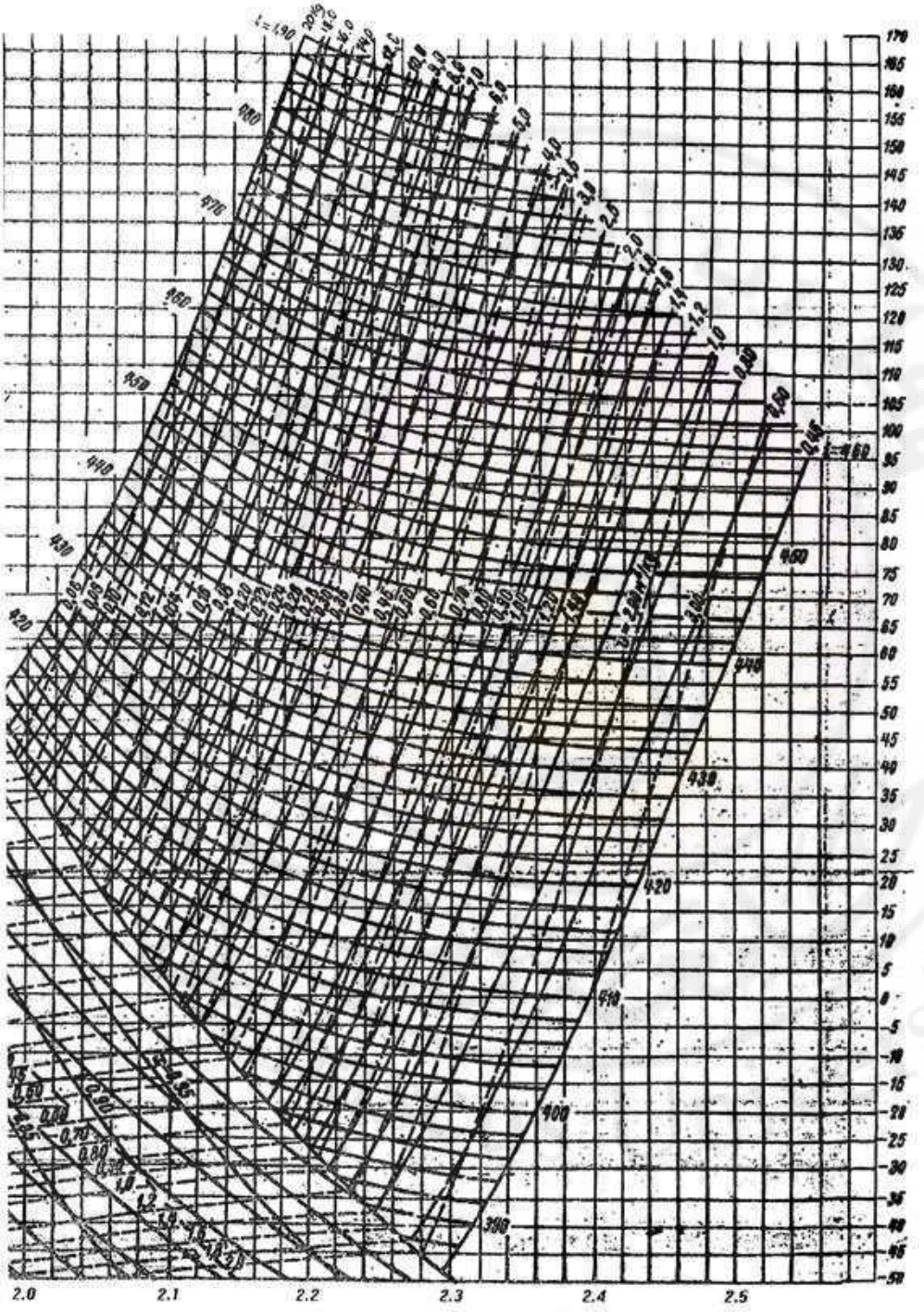
20- Применение холода в пищевой промышленности.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

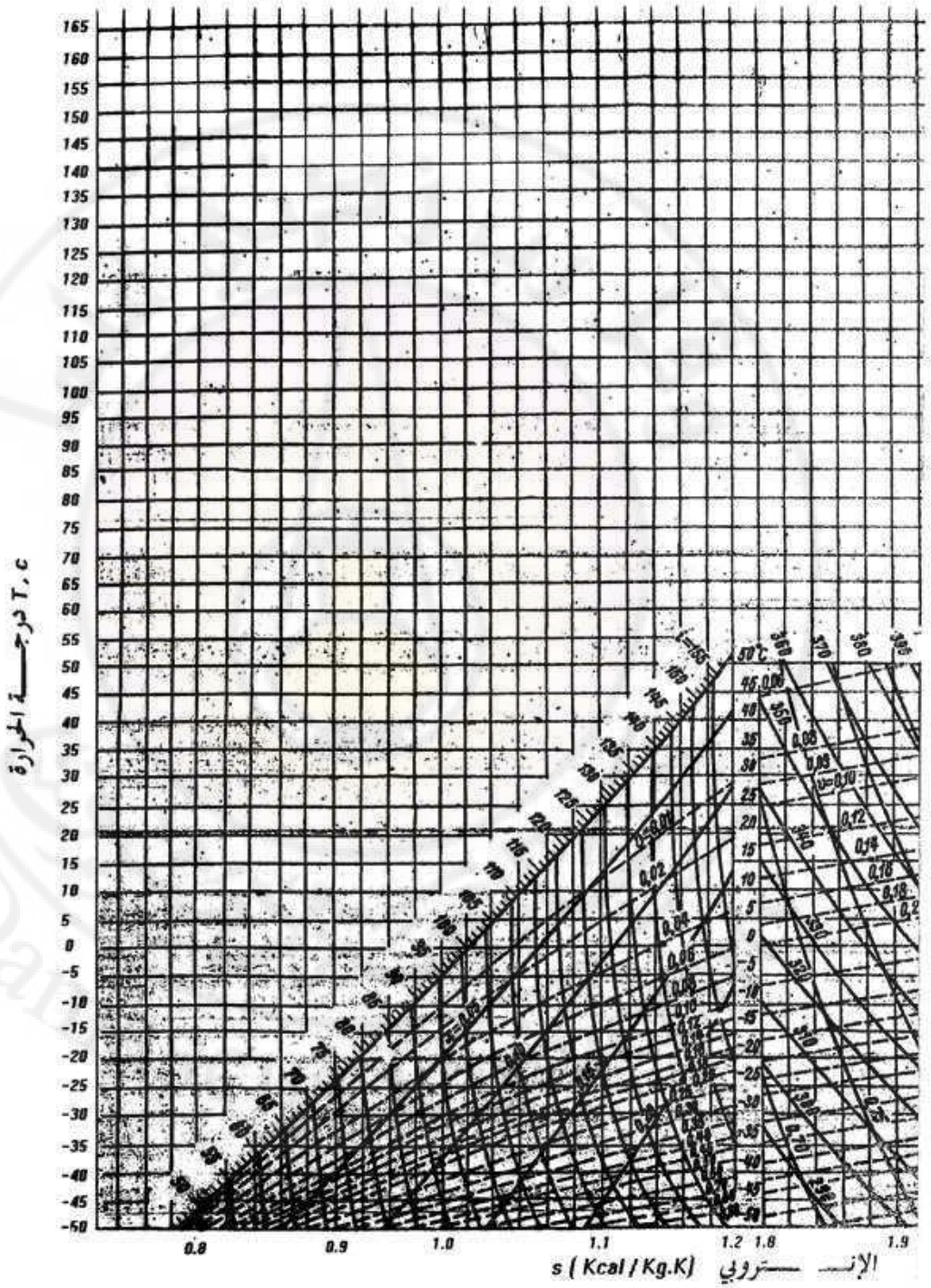
المدقق اللغوي: د. عادل ديوب

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



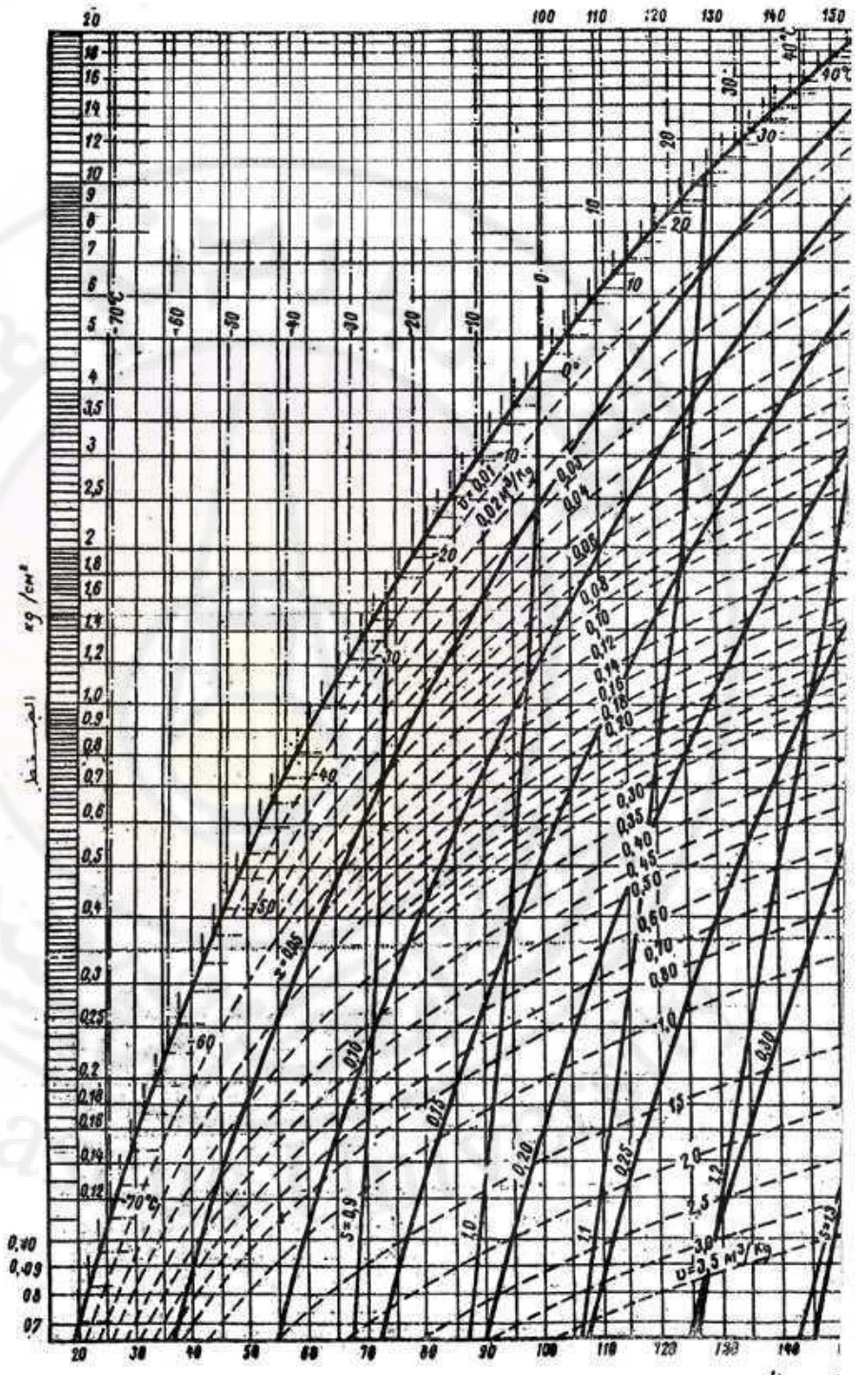
الملحق - ١٠ - (مخطط T - S) للأمونيا


T , c درجـــة الحرارة
165
160
155
150
145
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.8
1.9
s (Kcal / Kg.K)
الإنـــ ـــتروبي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق - ١١ - (مخطط i-log P) للأمونيا عند الضغوط المنخفضة

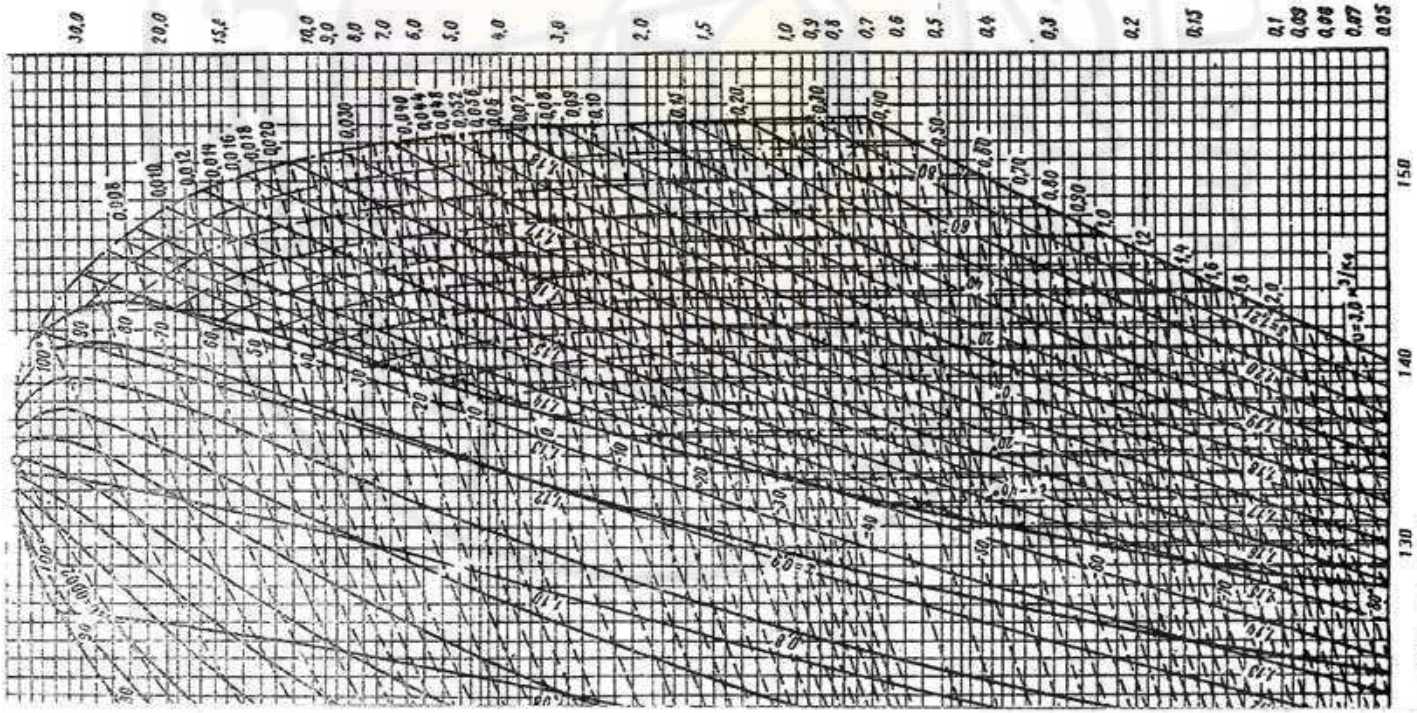

الضغط kg/cm²
v=0,001 m³/kg
0,002 m³/kg
-70°C
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0°
10
20
30
40°C
s=0,85
s=0,9
s=1,0
s=1,1
s=1,2
s=1,3
u=2,5 m³/kg

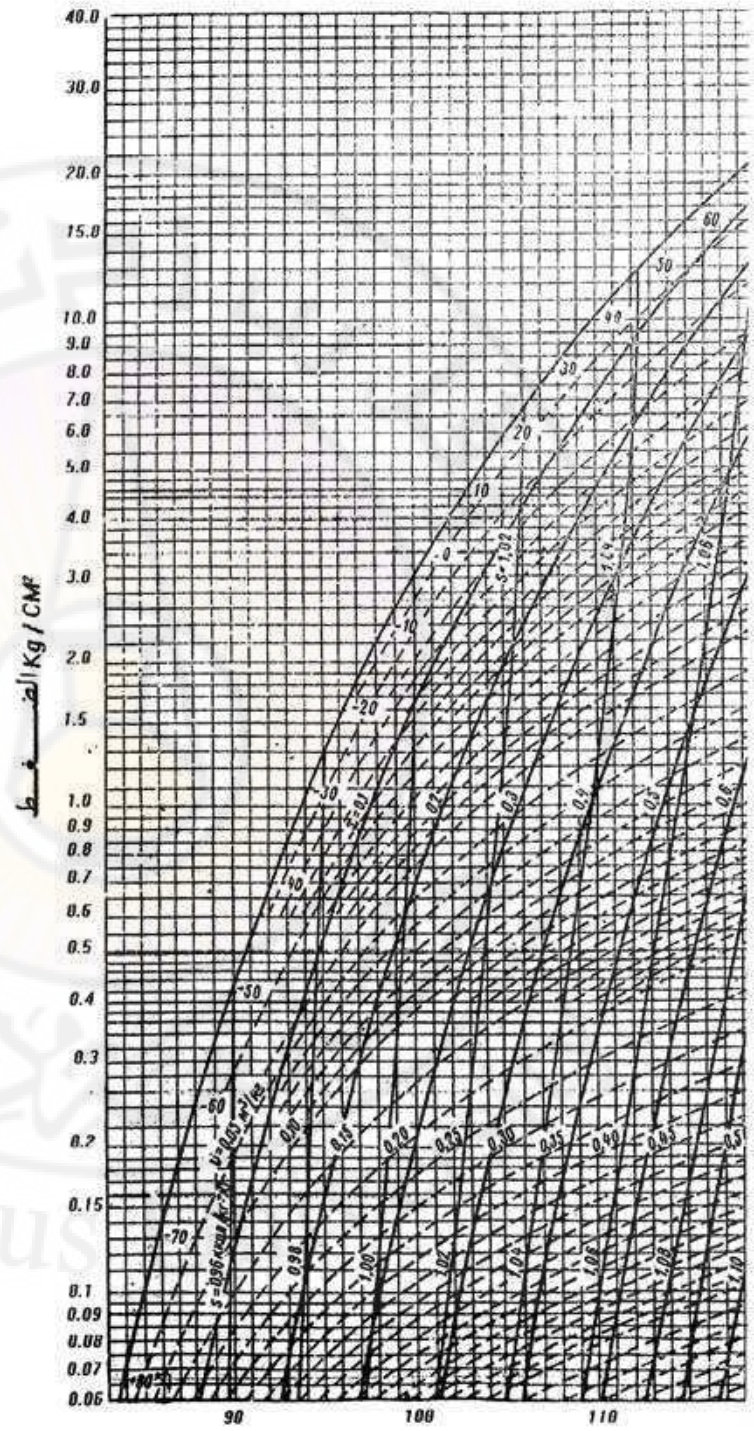
تـــالي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق ١٢ (مخطط i–log P عند الضغوط المرتفعة لـ R-12)

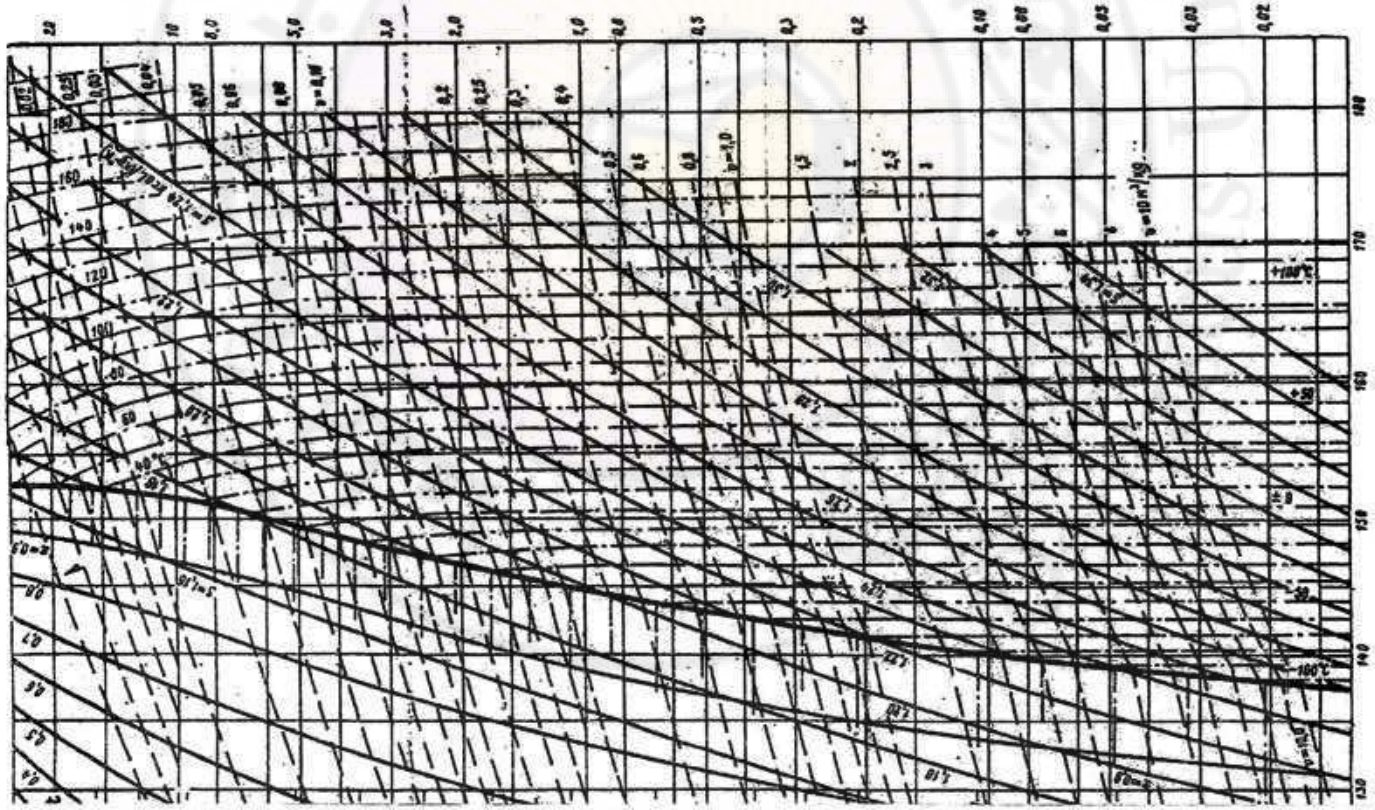


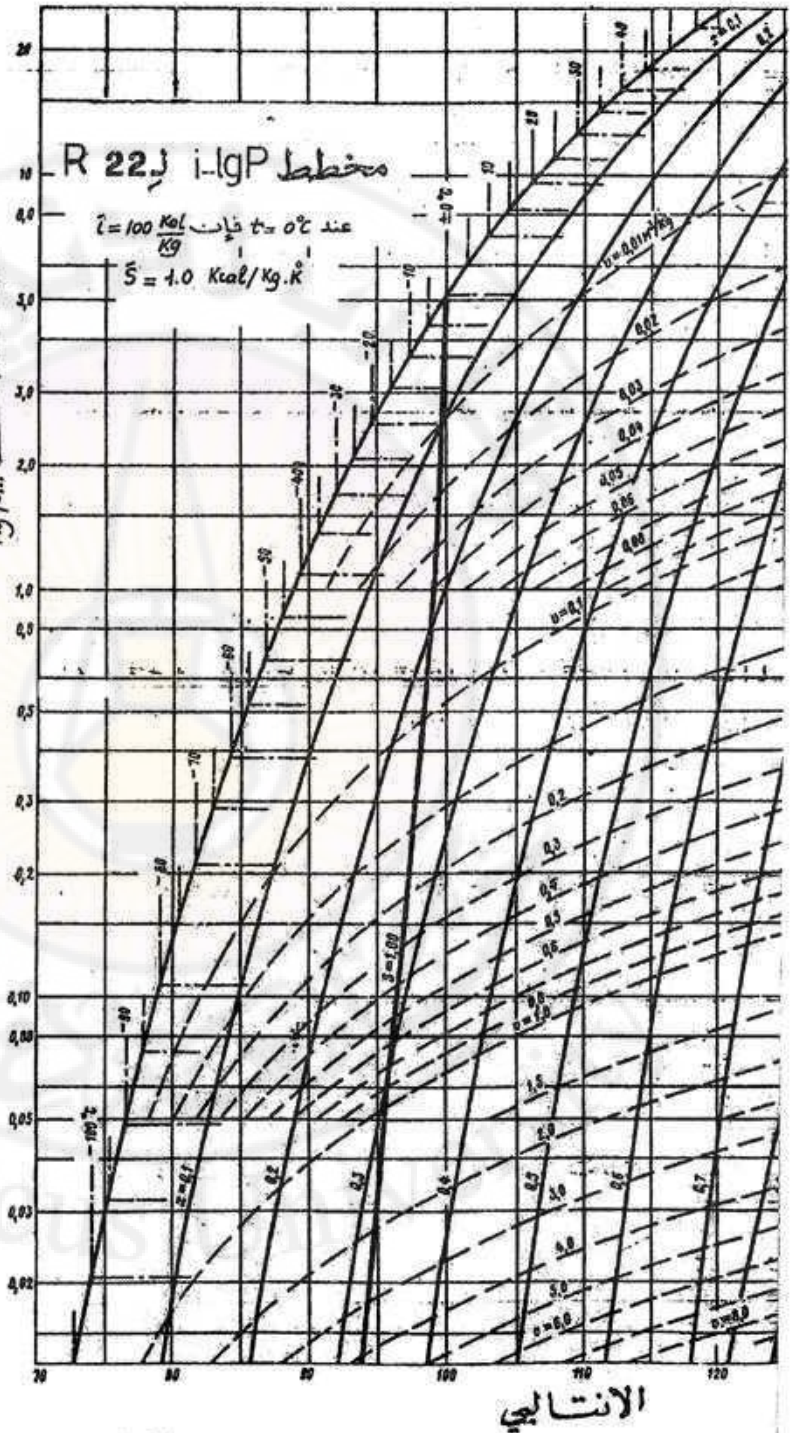

الضغط Kg / CM²
40.0
30.0
20.0
15.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.5
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.15
0.1
0.09
0.08
0.07
0.06
90
100
110

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق - ١٣ - (مخطط i-log P لـ R-22 عند t=0°C فأنَ i=100 Kcal/Kg S=1.0 Kg.°K)

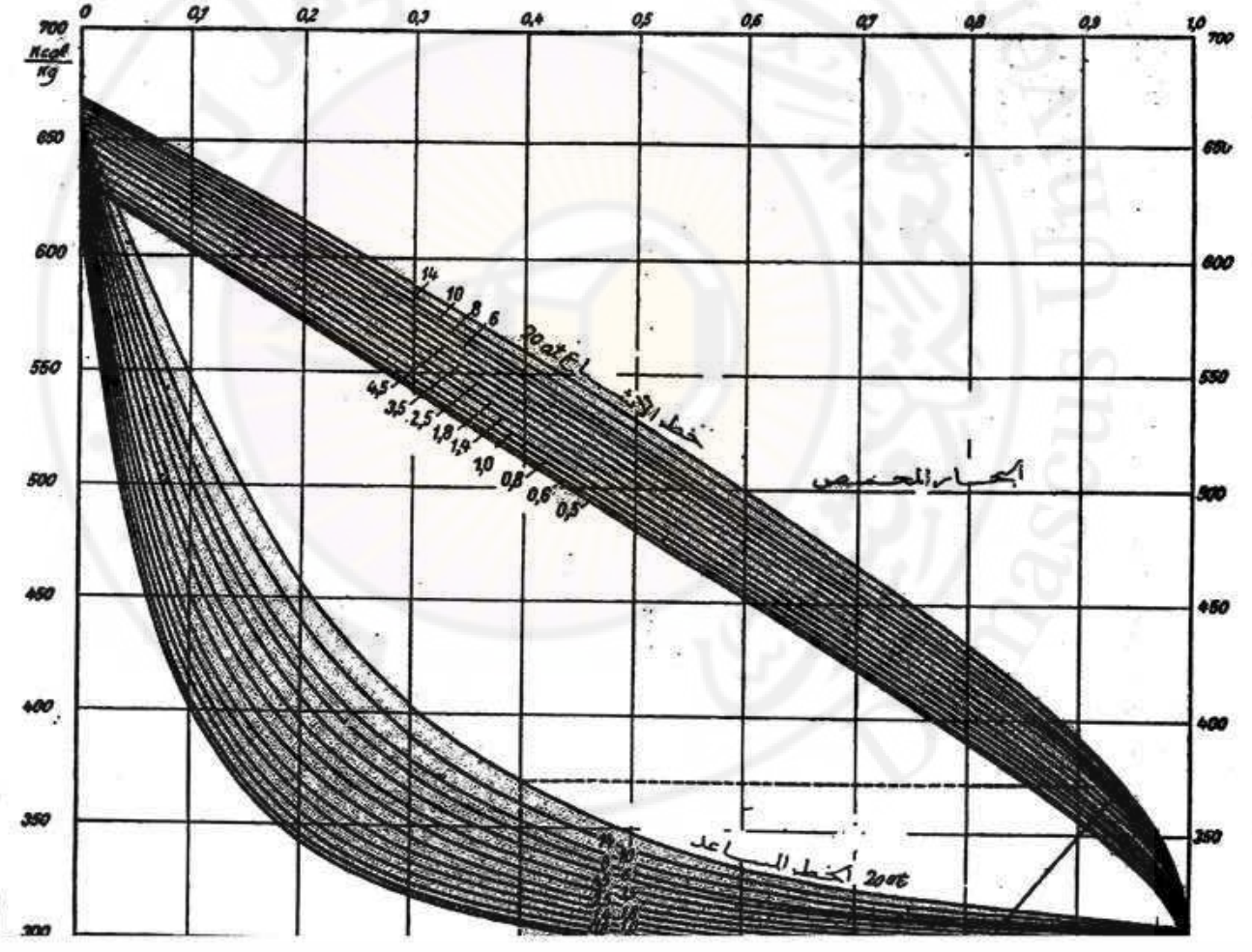



مخطط i-lgP لـ R 22
عند t= 0°C فإن
i = 100 Kcal/Kg
S = 1.0 Kcal/Kg.K°
الضغط Kg/cm²
الانتالبي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق – ١٤ – (مخطط محلول الأمونيا مع الماء)

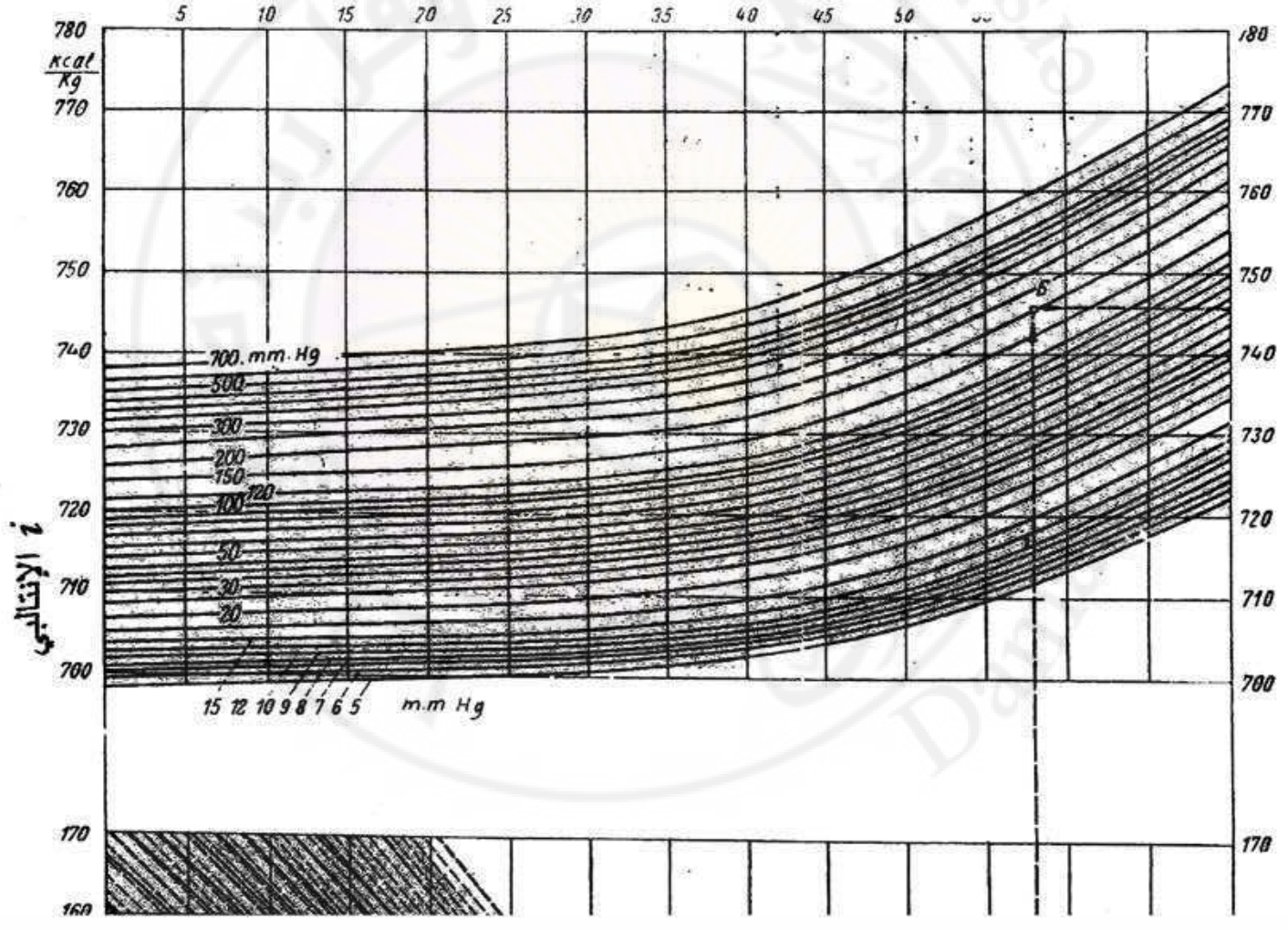


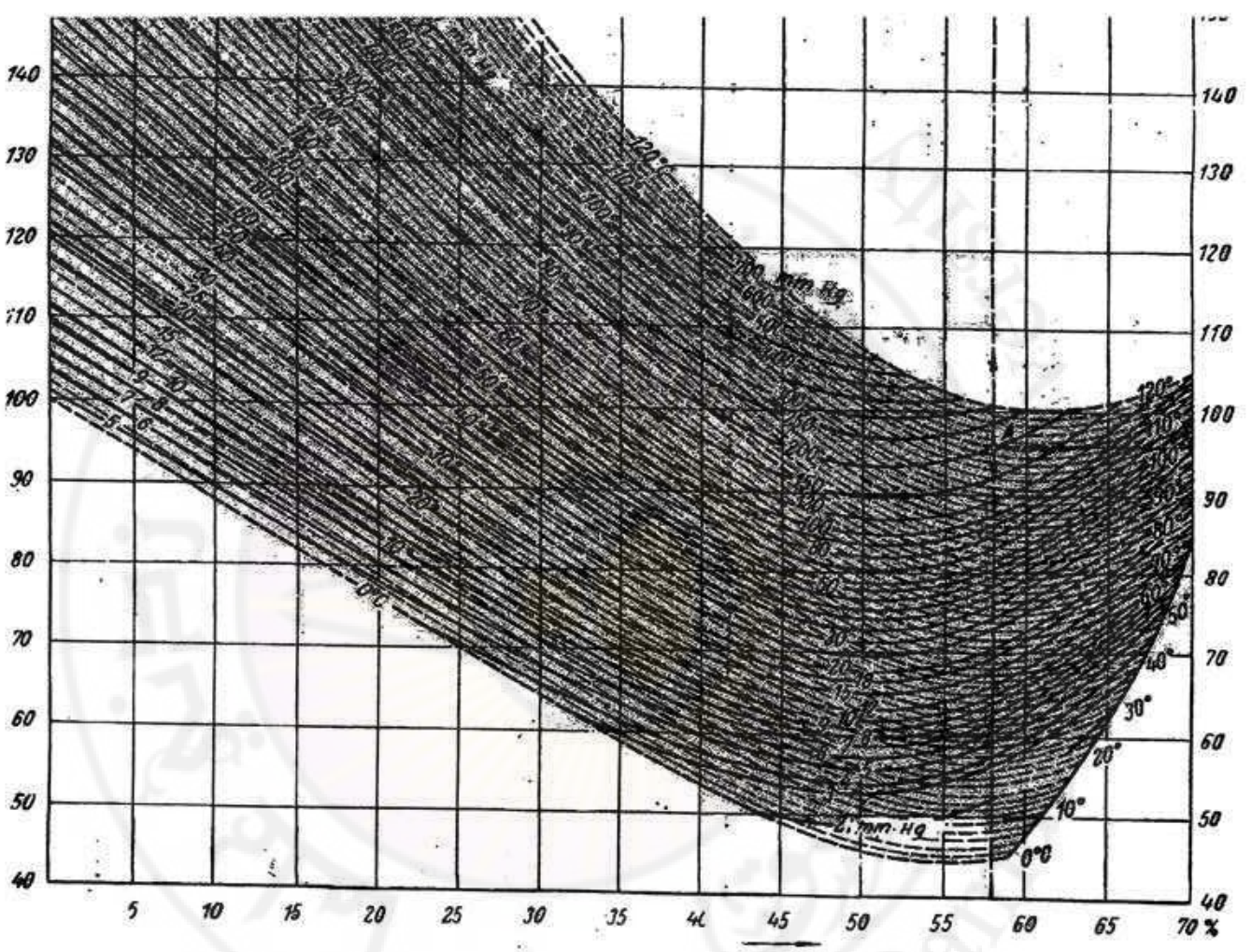
الإنتالبي
منحنى الضغط الجوي
منحنى تغيرات نسبة البخار المشبع
أجل تحديد التوازن للبخار عند الضغط
البخار المشبع الرطب
خط الغليان
— كتلة الكيلو

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق - ١٥ - (مخطط ζ - i) لمحلول الماء مع الليثيوم




140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70 %
التركيز ج
760 mm Hg
0°C
10°
20°
30°
40°
120°

١١٤٣

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University