

تكيف الهواء لأجل تبريد السكر وتأمين الأنظمة الاسمية لتخزينه في المستودعات

علي يحي عيسى *

المفصل

في الفترة الحارة من السنة لا يمكن تبريد السكر الى درجات الحرارة المذكورة أعلاه حيث يدخل الهواء الخارجي الغير مبرد مسبقاً بدرجة حرارة ٤٠/٣٥ درجة مئوية أو أعلى من ذلك .

بهذا الشكل يمكن تبريد السكر حتى ٤٥/٤٠ درجة مئوية فقط . وذلك لأن الفرق الاصغري لدرجة الحرارة بين السلعة المبردة والوسيط المبرد في أنظمة التبريد الاقتصادية يجب أن لا يقل عن ٥ درجات مئوية .

ان السكر الغير مبرد بشكل كاف يفقد عند التخزين خاصية الانفراط ، يتلبد في الأكياس ، خصوصاً عن التخزين بدون أكياس . لذلك من غير المرغوب تعبئة أو تخزين السكر في الصوامع بدون أكياس إذا كان يتمتع بدرجة حرارة ٢٦ / ٢٩ درجة مئوية ، أما عند درجة حرارة أكبر من ٣٠ درجة مئوية فمن غير المقبول تخزين السكر سواء كان معبأً بأكياس أم غير معبأً [٢] .

بدون استخدام التبريد الاصطناعي لا يمكن في المستودعات تأمين النظام الاسمى للوسط الهوائي :

درجة حرارة ٢٠ / ٢٥ درجة مئوية ورطوبة نسبية ٤٠/٦٠٪ [٢] .

نظراً لذلك تظهر مشكلة ايجاد جهاز تكييف وسيط التبريد (الهواء) . الهواء المكيف يجب أن يكون مجفف أي يجب أن تسحب منه الرطوبة الزائدة وأن يبرد حتى درجة الحرارة المطلوبة .

بتحليل منحنيات تبخير الرطوبة من الأوعية الشعرية (بهدف تكثيف اجراء تجفيف السكر في فترة تبريده وتقييم ذلك) ، والامتصاص (لتقييم امكانية الحصول على حالة التوازن الاسمى بين الرطوبة النسبية لهواء المستودع والرطوبة النوعية للسكر المخزن) ، يمكن الاستنتاج بأنه لتبريد السكر في أجهزة التجفيف يمكن أن يكون الحد الأدنى للرطوبة النسبية للهواء غير محدود ، الحد الأعلى مسموح حتى ٦٠٪ .

لتخزين السكر الناعم يجب أن يتمتع بشروط محددة من درجة حرارة ومحتوى رطوبة ، والتي يتطلب تأمينها تكيف الهواء اصطناعياً . أي يجب أن يجفف الهواء ويبرد حتى درجة الحرارة المطلوبة .

لا يمكن باستخدام المكيفات المستقلة الضاغطة المتوفرة الحصول على بارامترات الهواء المطلوبة . كما أن معالجة الهواء في محطات التكيف الضاغطة يتطلب استهلاك كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية .

لذا من أجل تأمين البارامترات المطلوبة للهواء المستخدم لتبريد وتجفيف السكر تمت في هذا الموضوع دراسة محطة لتكيف الهواء تؤدي الغرض المطلوب ويتم فيها الاستغناء عن الات التبريد الضاغطة وذلك باستخدام اجهزة التبريد التبخيري الغير مباشر والمجففات الامتزازية العاملة على السيليكون ، وهذا ما يرفع من قيمة المؤشر الاقتصادي من الناحيتين التأسيسية والاستثمارية .

أجريت حسابات لبارامترات التغذية للهوا المكيف من أجل عدة خيارات لمخطط المحطة المدروسة وتحليل نتائج الحسابات تم تبيان افضلية استخدام كل من هذه المخططات تبعاً لبارامترات الهوا الخارجي والتي تختلف من منطقة لأخرى .

١- المقدمة

يجري في الأجهزة التبريدية التجفيفية تجفيف وتبريد السكر الناعم في وقت واحد لتأمين حفظه فيما بعد .

عند مخرج الاجهزة يجب أن يتمتع السكر الناعم بدرجة حرارة ٢٥/٢٠ درجة مئوية ورطوبة ١٠٪ / ١٤٪ عند التخزين في الأكياس و ٠,٠٢ / ٠,٠٤ عند التخزين بدون أكياس [٢,١] .

* كلية العلوم الهندسية جامعة أمدرمان الإسلامية ، السودان

٢ - الطريقة المقترحة للحصول على الهواء المبرد والمجفف

من الممكن حل مسألة الحصول على الهواء المبرد والمجفف بالشكل التالي :

لتبريد الهواء من المناسب اقتصادياً استخدام المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري الغير مباشر للهواء . مكيفات التبريد التبخيري الغير مباشر تستهلك طاقة كهربائية أقل بأربع مرات والكلفة أقل بمعدل ٦/٤ مرات منها للمكيفات المستقلة الضاغطة [٤.٣] ، وتتميز مكيفات التبريد التبخيري ببساطة التصميم والاستثمار .

تجفيف الهواء ممكن باستخدام فعل امتزاز (Adsorbtion) بخار الماء على سطح مادة صلبة امتزازية (السيليكون) .

من ميزات هذا النوع من التجفيف البساطة في تصميم جهاز التجفيف ، غياب الاجهزة المتحركة والميكانيزمات ، والوثوقية بالعمل ، امكانية تجفيف كميات كبيرة من الهواء ، بساطة عملية الارجاع (التجديد) (Regeneration) ، والأهم من ذلك امكانية الحصول على أي عمق مطلوب لتجفيف الهواء [٥] .

لتكثيف إجراء تجفيف الهواء المعالج من الضروري تبريده مبدئياً في المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر وذلك للمناطق الحارة وذات الرطوبة الغير مرتفعه جدا ، وبعد ذلك ادخاله الى طبقة من السيليكون لأجل التجفيف .

بعد تجفيف الهواء يبرد ثانية بمبادل حراري للتبريد التبخيري الغير مباشر . عند الحصول على هواء مبرد الى درجة حرارة أقل من درجة الحرارة المطلوبة وباشباعية منخفضة ببخار الماء يمكن أن يمزج مع هواء خارجي .

ارجاع السيليكون يمكن أن يتم بفعالية باستخدام هواء مسخن حتى درجة حرارة ٧٠/٤٠ درجة مئوية ، ويمكن ان تستخدم لهذا الغرض المصادر الحرارية المنخفضة الجهد ، مثل : حرارة البخار أو الماء الساخن المطروحين من المصانع بعد استخدامهما ، الطاقة الجيولوجية والطاقة الشمسية [٦] .

لأجل استمرارية تغذية الهواء المعالج يحوي النظام مجففين للهواء يعملان بالتناوب ، ويتم تنظيم ذلك بواسطة صمامات . عند ذلك يجب ان تتم دورة الارجاع بوقت أقصر من دورة التجفيف لكي تكون هناك امكانية لتبريد السيليكون المرجع بعد انتهاء اجراء الارجاع وقصل المصدر الحراري وذلك قبل أن يدفع اليه الهواء الرطب .

٢- المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري الغير مباشر :

يفهم من تعبير التبريد التبخيري الغير مباشر للهواء التبريد الجاف للهواء (عند رطوبة نوعية ثابتة) على حساب التبريد التبخيري .

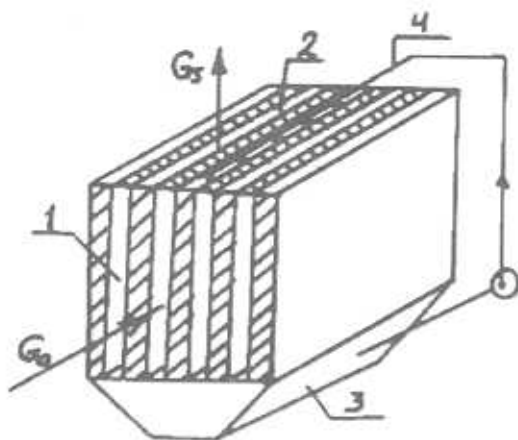
يتميز التبريد التبخيري الغير مباشر بمشاركة تيارين من الهواء في عملية نقل الحرارة و الكتلة [٨.٧] : التيار الاساسي المبرد الذي يطرح الحرارة عبر الجدران الفاصلة للمبادل الحراري بدون التلامس المباشر مع الماء ، وتيار الهواء الثانوي الذي يؤمن التبريد التبخيري للماء ، البارامترات البدائية لكلا تيارَي الهواء واحدة ، درجة حرارة الماء المبرد بالتبخير تكون دائماً أكبر من درجة حرارة نقطة الندى لتيار الهواء الاساسي المبرد [٩] . لذلك فان تبريد الهواء عبر الجدران الفاصلة يتم بدون تغير في الرطوبة .

طريقة التبريد التبخيري الغير مباشر تسمح بتبريد تيار الهواء الاساسي عند رطوبة نوعية ثابتة بدون استخدام مصادر التبريد الاصطناعية .

يمكن تصنيف المخططات الرمزية للتبريد التبخيري الغير مباشر الى صنفين [٩.٧] :

١- المخطط المستقل ، في هذه الحالة يتم في المبادل الحراري تدوير الماء المبرد مسبقاً في برج التبريد .

٢- المخطط المختلط ، وفي هذه الحالة فإن الماء الدائر يبرد بالتبخير في المبادل الحراري نفسه عند تلامسه المباشر مع تيار الهواء الثانوي (الشكل ١) .



الشكل (١) المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر للهواء
١/ قنوات الهواء الاساسي
٢/ قنوات تيار الهواء الثانوي
٣/ حوض تجميع الماء
٤/ أنبوب إيصال الماء إلى فلات التبريد .



ان فعالية استخدام المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري تتعلق بالشروط المناخية للمنطقة فكلما كان الجو جافا كلما كانت الفعالية أكبر .

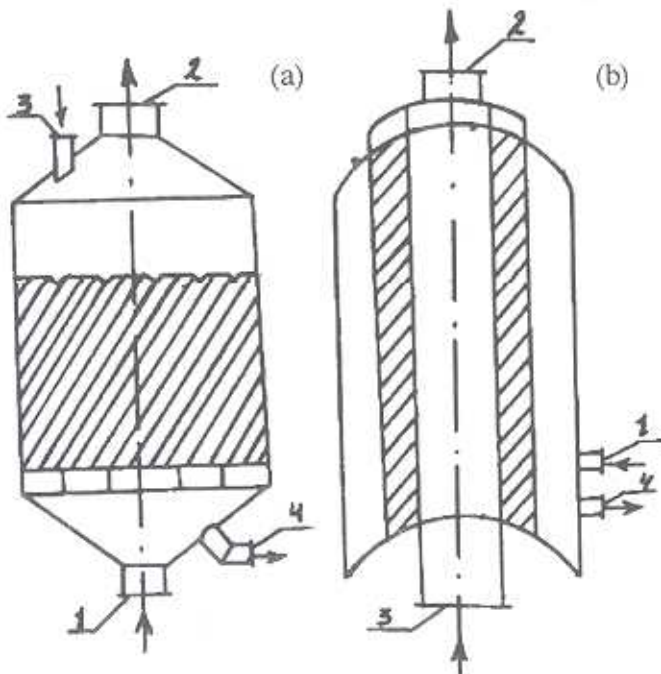
٤- المجفف الامتزازي

لتجفيف الهواء تستخدم مواد معدنية اصطناعية مختلفة ذات خاصية امتزازية . يعتبر السيليكون أحد أكثر هذه المواد انتشارا في تقنية تكييف الهواء . باستخدام السيليكون يمكن الحصول على تجفيف عميق للهواء .

مقدرة السيليكون لامتصاص بخار الماء غير ثابتة وتتعلق بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية البدائيتين للهواء المجفف [١٥] .

عندما تزيد درجة حرارة الهواء عن ٣٥ درجة مئوية فان خواص السيليكون لامتصاص الرطوبة تصبح سيئة ، لذلك من غير المناسب استخدام السيليكون لتجفيف الهواء عند درجات حرارة أعلى من ٣٥ درجة مئوية [١٥، ١٦] .

الشكل ٣ يبين خيارين لتصميم مجفف الهواء (عمودي ، حلقي) . النموذج الاساسي للمجففات الامتزازية حتى وقتنا الحاضر هي المجففات ذات الامتزاز الدوري ، وفيها يتم وصل المجفف بعد انتهاء عملية الامتزاز (adsorbtion) الى وضعية الارجاع (regeneration) .



الشكل (٣) مخطط مجفف الهواء بالسيليكون :

- ١- دخول الهواء للتجفيف / عمودي / ا
٢- خروج الهواء المجفف / حلقي / ب
٣- دخول هواء الإرجاع
٤- خروج هواء الإرجاع

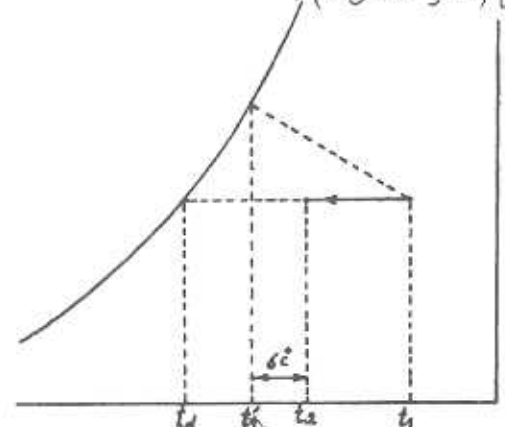
ان مثل هذا الجهاز يحتوي على مجموعتين من القنوات المتناوبة تفصل بينها جدران . عبر مجموعة القنوات ٢ يمر تيار الهواء الثانوي ، على سطوح جدران هذه القنوات يسيل الماء المتدفق عبر أنابيب توزيع وقالات ترنيد. يتبخر جزء من الماء أما الجزء المتبقي يتجمع في حوض اسفل الجهاز ، ومن هناك يدفع بمضخة من جديد الى انابيب التوزيع .

عند تبخر الماء تنخفض درجة حرارة تيار الهواء الثانوي (عند زيادة رطوبته النوعية في نفس الوقت) ، وهكذا يبرد جدار القناة . التيار الاساسي للهواء المجاور للجدار من الجهة الثانية يبرد عند رطوبة نوعية ثابتة .

الافضلية التي يتمتع بها التبريد الغير مباشر بالمقارنه مع التبريد التبخيري المباشر (عند تلامس الهواء مباشرة مع الماء) . هي امكانية تأمين درجة حرارة ورطوبة نوعية أكثر انخفاضاً للهواء المكيف [١٤، ١٠، ٤] . تصنع المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري الغير مباشر (النوع المخلط) بشكل صفائح متوازية ذات سطوح مستوية أو مموجة (متعرجة) [٤، ٩، ١٢، ١٣، ١٤] ، وتكون موضوعة في صندوق (غلاف) مشكلة بذلك قنوات جافة وقنوات رطبة . هذه الصفائح يمكن أن تصنع من الألمنيوم بسماكة ٢ . ٢ / ٠ . ٢ مليمتر [١٢، ١٣] .

نظراً لكون الفرق السايكرومترى لدرجات الحرارة عند استخدام التبريد التبخيري صغير فان الفرق بين درجتي حرارة التغذية t_5 للهواء المكيف ودرجة حرارة هواء الغرفة t_4 يؤخذ ٥ درجات مئوية [١٤] بالتالي فان هواء التغذية اللازم لتأمين الشروط الاسمية يجب أن لا يزيد عن ٢٠ درجة مئوية .

أثناء الحسابات تؤخذ درجة حرارة الهواء الاساسي عند الخروج من المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر أعلى بمعدل ٦ درجات مئوية من درجة الحرارة الرطبة الأولية للهواء عند الدخول الى المبادل الحراري [١٤] (انظر الشكل ٢) .



الشكل (٢) : تمثيل إجراء تبريد تيار الهواء الاساسي في المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر على المخطط السايكرومترى

البارمترات النهائية يمكن ايجادها بتمثيل الاجراء على المخطط السايكروميتري .

حجم السيليكون اللازم لامتصاص كمية الرطوبة تحدد بالعلاقة :

$$V_s = \frac{W_{ad}}{a \cdot \rho_s} , m^3 \quad (3)$$

حيث :

a - المقدرة الامتصاصية للسيليكون ، وهي نسبة كتلة الرطوبة الممتزة على كتلة السيليكون الجاف (kg/kg) .
بعض المراجع [١٦] تقترح اعتماد المقدرة الامتصاصية للسيليكون بالحدود ٠.٠٨ حتى ٠.٠١ .

مساحة سطح طبقة السيليكون تحدد بالعلاقة :

$$F_s = \frac{G_a}{3600 v \rho_a} , m^2 \quad (4)$$

حيث :

v - سرعة الهواء عند الدخول الى طبقة السيليكون وتؤخذ بحدود ٠.١٥ / ٠.٥ متر في الثانية .

ρ_a - الكتلة النوعية للهواء (kg/m³) .

تحديد سماكة طبقة السيليكون بالعلاقة :

$$\delta_s = \frac{W_{ad} \cdot 103}{F_s \cdot a \cdot \rho_s} , mm \quad (5)$$

حيث :

ρ_s - الكتلة النوعية النوعية للهواء (kg/m³) .

ينصح باعتماد هذه السماكة بحدود لا تزيد عن ٥٠ ملم [١٧] .

مقاومة طبقة السيليكون عندما تكون الحبيبات بقطر ٢/١ ملليمتر تحدد بالعلاقة :

$$Pa = (35 \div 40) \delta_s v^2 , Pa \quad (6)$$

التدفق الكتلي لهواء الارجاع يحسب بالعلاقة :

$$G_{des} = (1.5 \div 2) G_a \frac{\Delta d}{\Delta d_{des}} \quad (7)$$

حيث :

Δd - فرق الرطوبة النوعية للهواء المعالج خلال اجراء الامتزاز (g/kgd.a) .

عند وصول المادة الامتزازية الى حد الاشباع تفقد مقدرتها لامتصاص الرطوبة من الهواء . في هذه الحالة تُرجع بامرار تيار هواء ساخن . نتيجة تلامس المادة مع تيار الهواء الساخن ترتفع درجة حرارتها بشكل حاد . وهكذا فإن الرطوبة تتبخر من السيليكون وتحمل مع هواء الارجاع .

ان زيادة ارتفاع طبقة السيليكون يزيد من انخفاض الضغط .

كما هو معروف حسب معطيات المراجع [٥] عند عمل المادة الامتزازية حتى لحظة اشباعها فان سماكة الطبقة لا تؤثر على قيمة سرعة الامتزاز . عند اختيار طبقة السيليكون يجب الانطلاق من قيمة المقاومة التي تشكلها هذه الطبقة عند مرور تيار الهواء خلالها . ينصح بأن تؤخذ سماكة المادة الامتزازية بحدود ٧٠/٥٠ ملليمتر .

نظراً للمقاومة الكبيرة لطبقة السيليكون ينصح بأن تؤخذ سرعة الهواء في المجال ٠.١٥ / ٠.٥ متر في الثانية [١٦، ٤] .

في الحسابات الهندسية العملية يعتبر ان اجراء الامتزاز يتم بشكل اديباتي (dq=0) [١٦]

وبالتالي فإن درجة الحرارة النهائية للهواء بعد المجفف تحسب بالعلاقة :

$$t_2 = t_1 + \frac{2500 (d_1 - d_2) 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}}{C_a} \quad (1)$$

حيث :

C_a - الحرارة النوعية للهواء (KJ/kg. °C)

t_1 - درجة حرارة الهواء عند الدخول الى المجفف (°C)

d_1, d_2 - الرطوبة النوعية للهواء عند الدخول الى المجفف وعند الخروج منه بالتالي (g/kgd.a)

يجري حساب المجفف الامتزازي كالتالي : [٤]

كمية الرطوبة الممتزة :

$$W_{ad} = G_a (d_1 - d_2) 10^{-3} \tau , kg \quad (2)$$

حيث :

G_a - التدفق الكتلي للهواء المعالج عبر المجفف ،

(kg/h)

τ - زمن عملية التجفيف بالساعة (h)

الرطوبة النوعية النهائية تعتبر معطاة ، أما بقية



Δd_{des} - فرق الرطوبة النوعية لهواء الارجاع بين مدخل ومخرج المجفف (g/kg.d.a) .

المخطط السايكرومترى من ١ إلى ٢) .

ان نسبة التدفق الكتلي لتيار الهواء الثانوي G_s الى التدفق الكتلي لتيار الهواء الاساسي G_o الموافقة للنظام الاسمي لعمل المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري الغير مباشر [١٨] هي :

$$L = \frac{G_s}{G_o} = 0,5 \quad (٨)$$

بعد خروج تيار الهواء الاساسي من المبادل الحراري ٢ يقسم من جديد الى تيارين : ثانوي يدخل الى القنوات الرطبة للمبادل الحراري ٥ وأساسى يدخل الى المجفف الامتزاجي ١٠ ، وفيه يتحدد مستوى امتصاص بخار الماء بامكانية التبريد الثاني في المبادل الحراري ٥ ، أي بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية المسموحتين للهواء الذي يغذي جهاز تبريد وتجفيف السكر أو المستودع . إجراء تجفيف الهواء يمثل على المخطط السايكرومترى من نقطة (٢) إلى النقطة (٣) بعد خروج التيار الاساسي للهواء من المجفف ١٠ يدخل إلى المبادل الحراري (٥) «القنوات الجافة» يبرد مرحلة ثانية . إجراء التبريد يمثل على المخطط السايكرومترى من النقطة ٢ الى النقطة ٤ . عند الضرورة يمكن وضع مبرد ثالث ١١ مبين على الشكل بخطوط منقطة وذلك للحصول على درجة تبريد أعمق (الاجراء من ٤ الى ٥) .

وفي نفس الوقت الذي تتم فيه عملية تجفيف الهواء في المجفف ١٠ يجري ارجاع السيليكون في المجفف ٤ ، حيث تدفع المروحة الهواء عبر المسخن ٨ الذي يقوم بتسخينه ويساق بعد ذلك الى المجفف ٤ لارجاع السيليكون .

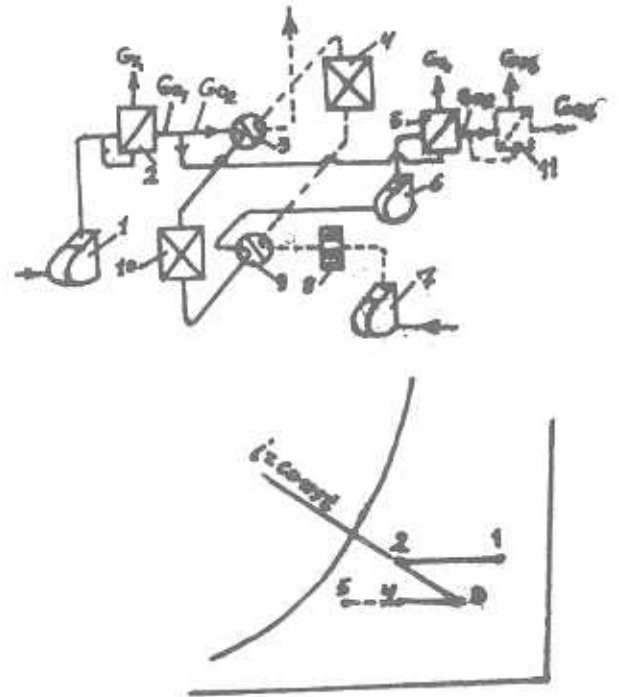
بعد الإرجاع تتغير وضعية فتحات الصمامين ٣ ، ٩ ، ويتم وصل المجفف ٤ الى وضعية تجفيف الهواء المعالج ، أما المجفف ١٠ فيوصل الى وضعية الارجاع .

لتبيان البارامترات الأولية للهواء ، التي يمكن عندها الحصول على البارامترات المطلوبة للهواء المكيف ، الموافقة للشروط الاسمية لتخزين السكر ، اجريت بمساعدة المخطط السايكرومترى للهواء الرطب حسابات لدرجة الحرارة الحاصلة لتيار الهواء الاساسي المعالج في المحطة المدروسة وفق الشكل ٤ وبالتالي درجة الحرارة في مجفف السكر أو المستودع .

نتائج الحسابات ادرجت في الجدول ١ بعد أن أجريت عند بارامترات أولية مختلفة للهواء الخارجي وبفرض أن الهواء يجفف في المجفف الامتزاجي حتى رطوبة نوعية

٥- كيفية عمل محطة التكيف المقترحة :

المخطط الرمزي للمحطة المقترحة لتبريد وتجفيف الهواء في المناطق الحارة والرطوبة نسبياً مع التمثيل على المخطط السايكرومترى موضح على الشكل (٤) .



الشكل (٤) : المخطط الرمزي لمحطة تبريد وتجفيف الهواء بأن واحد مع التمثيل على المخطط السايكرومترى :

- ١- مروحة سحب الهواء الخارجي من أجل المعالجة .
- ٢-٥ مبردي مرحلة أولى وثانية . ٩،٣ صمامي تغيير اتجاه حركة الهواء . ١٠،٤ - مجففي الهواء بالسيليكون . ٦- مروحة تغذية الهواء الى جهاز التجفيف - التبريد أو الى مستودع التخزين بدون حاويات . ٧- مروحة تغذية الهواء للارجاع . ٨- مسخن .
- ١١- مبرد مرحلة ثالثة .

الهواء الخارجي يؤخذ بوساطة المروحة ١ ويدفع باتجاه المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر (مرحلة تبريد أولى) . قبل المبرد يقسم تيار الهواء الكلي الى تيارين :

أساسي G_{o1} يدخل عبر القنوات الجافة للمبادل الحراري ، وثانوي G_{s1} يمر عبر القنوات الرطبة الى الخارج أو يستخدم لتكثيف أمكنة ملحقة (حيث رطوبته عالية) . أما التيار الاساسي يخرج من المبادل بعد أن يبرد عند رطوبة نوعية ثابتة فتزداد رطوبته النسبية وتنخفض درجة حرارته الى قيمة معينة (الاجراء ممثل على

أما نتائج الحسابات المدرجة في الجدول ٢ تبين أنه للمناطق التي تتمتع بهواء ذو درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية وما دون ومجال واسع لتغير الرطوبة النوعية يمكن أيضاً الحصول على البارامترات المطلوبة للهواء باستخدام محطة التكييف العاملة وفق المخطط الموضح على الشكل ٥ والتي يتم فيها تجفيف الهواء أولاً ومن ثم تبريده على مرحلتين فقط ، وهذا بشكل فعالية إقتصادية أكبر مقارنة بالحالة السابقة لهذا المجال من البارامترات الأولية .

بالنظر الى نتائج الحسابات المدرجة في الجدول ٢ يتضح أن للمناطق التي تتمتع بهواء ذو رطوبة نوعية 5 g/kgd.a وما دون ومجال واسع لتغير درجة الحرارة يمكن الحصول على البارامترات المطلوبة للهواء من أجل تبريد وتجفيف السكر وذلك باستخدام محطة التكييف العاملة وفق المخطط الموضح على الشكل ٦ التي يتم فيها تبريد الهواء على مرحلتين فقط وبدون استخدام التجفيف وهذا أيضاً بشكل فعالية اقتصادية أفضل .

من الشكل ٢ يتضح أن حدود امكانية تبريد التيار الاساسي للهواء أقل من درجة الحرارة الرطبة ، ويمكن أن تصل في بعض الحالات الى درجة حرارة نقطة الندى . فباستخدام مرحلة واحدة لنظام التبريد التبخيري الغير مباشر يمكن نظرياً تبريد التيار الاساسي للهواء حتى درجة الحرارة الرطبة الأولية للهواء . عملياً درجة الحرارة على مخرج المبادل الحراري تكون أكبر .

وباستخدام عدة مراحل للتبريد التبخيري الغير مباشر يمكن الحصول على تبريد أعمق للتيار الاساسي .

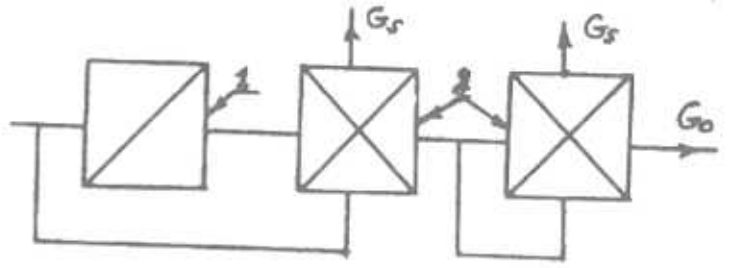
٧- الاستنتاجات

١- يمكن باستخدام محطة تكييف الهواء المقترحة ، العاملة على التبريد التبخيري الغير مباشر والتجفيف الامتزازي ، حل مشكلة تبريد وتجفيف السكر وتأمين الشروط الاسمية لتخزينه بدون استخدام الات التبريد الضاغطة .

٢- ان شكل مخطط محطة التكييف الاكثر ملائمة اقتصادياً للحصول على البارامترات المطلوبة يتعلق ببارامترات الهواء الخارجي للمنطقة .

٣- باستخدام مخطط محطة التكييف الموضح على الشكل ٥ الذي يتم فيه تجفيف الهواء أولاً ومن ثم تبريده ، للمناطق التي تتمتع بهواء ذو رطوبة عالية

كما أجريت حسابات معادلة لخيار ثاني لمخطط محطة معالجة الهواء المبين على الشكل ٥ ، وفيه يتم تجفيف



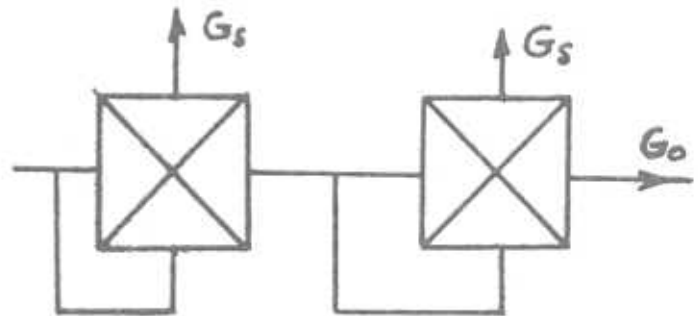
الشكل (٥) الخيار الثاني لمحطة تكييف الهواء المقترحة

١- مجفف امتزازي

٢- مبادل حراري للتبريد التبخيري الغير مباشر

الهواء أولاً ثم يدخل إلى مرحلتين فقط من المبادلات الحرارية للتبريد التبخيري الغير مباشر . نتائج الحسابات مدرجة في الجدول ٢ .

وأجريت حسابات معادلة أيضاً لخيار ثالث موضح على الشكل ٦ وفيه يعالج الهواء فقط في مرحلتين للتبريد التبخيري الغير مباشر ، ولا يتعرض الهواء في هذه الحالة للتجفيف .



الشكل (٦) : الخيار الثالث لمحطة تكييف الهواء المقترحة .

أدرجت نتائج الحسابات في الجدول ٣ .

٦- المناقشة :

من نتائج الحسابات المدرجة في الجدول ١ يتضح أنه باستخدام محطة التكييف المقترحة العاملة على مبدأ التبريد التبخيري الغير مباشر للهواء والتجفيف الامتزازي وفق المخطط المبين على الشكل ٤ ، والتي يتم فيها تبريد الهواء أولاً ، ثم تجفيفه ، وبعد ذلك تبريده بمرحلتين إضافيتين ثانية وثالثة . يمكن الحصول على البارامترات المطلوبة للهواء المكيف اللازم لتبريد وتجفيف السكر في مجال واسع لتغير درجة الحرارة الجافة و الرطوبة النوعية



والاستثمار وقلة الاجزاء المتحركة وباستهلاك قليل للطاقة الكهربائية ، وبالتالي فان الكلفة التأسيسية والاستثمارية له تكون أقل منها للمحطات الضاغطة لتكييف الهواء ، ومما يزيد الفعالية الاقتصادية للمحطة المدروسة امكانية ارجاع السيليكون عند درجات حرارة منخفضة وذلك باستخدام المصادر الحرارية المنخفضة الجهد .

ودرجة حرارة ٢٥ درجة مئوية وما دون ، يمكن تأمين الشروط الاسمية لتخزين السكر بفعالية اقتصادية أكبر .

٤- يمكن زيادة عمق التبريد للتيار الاساسي للهواء بزيادة عدد مراحل التبريد التبخيري الغير مباشر .

٥- ان النظام المدروس لتكييف الهواء من أجل تبريد وتجفيف السكر يتمتع بالبساطة في التصميم

جدول (١) : نتائج حساب بارامترات الهواء المعالج في محطة التكييف ذات المخطط الموضح على الشكل ٤

البارامترات الأولية للهواء		البارامترات على مخرج المبرد الأول		البارامترات على مخرج المبرد الثاني		البارامترات على مخرج المبرد الثالث		درجة الحرارة الجافة على مخرج المبرد الثالث	درجة حرارة هواء المستودع	
الرطوبة النوعية $d_1, \frac{g}{kgda}$	درجة الحرارة الجافة $t'_1, ^\circ C$	درجة الحرارة الرطبة $t_1, ^\circ C$	درجة الحرارة الجافة $t_2 = t'_1 + 6^\circ C$	درجة الحرارة الرطبة $t'_2, ^\circ C$	الرطوبة النوعية $d_3, \frac{g}{kgda}$	درجة الحرارة الجافة $t'_3, ^\circ C$	درجة الحرارة الرطبة $t_4 = t'_2 + 6^\circ C$	$t_5 = t'_4 + 6^\circ C$	$t_r = t_5 + 5^\circ C$	
12	44	25	31	21,3	4	50	27,3	13,5	19,	24,5
12	40	23,8	29,8	20,8	4	49	26,8	13,3	19,3	24,3
12	35	22,5	28,5	20,5	4	47,4	26,5	13	19	24
12	30	21	27	21,1	4	46,4	25,1	12,5	18,5	23,5
10	44	23,6	29,6	19,5	4	44,4	26,5	13,1	18,1	24,1
10	40	22,5	28,5	19	4	43	25	12,5	18,5	23,5
10	35	21	27	18,5	4	41,5	24,5	12,3	18,3	23,3
10	30	19,5	25,5	18	4	40	24	12	18	23
8	44	22,2	28,2	17,4	4	38	23,4	11,9	17,9	22,9
8	40	21	27	17	4	37	23	11,7	17,7	22,7
8	35	19,5	25,5	16,4	4	35	22,4	11,5	17,5	22,5
8	30	18	24	15,9	4	33,9	21,9	11,1	17,1	22,1
6	44	20,9	26,9	15,1	4	31,9	21,1	11	17	23
6	40	19,6	25,6	14,6	4	30,2	20,6	10,8	16,8	21,8
6	35	18	24	14	4	29	20	10,5	16,5	22,5
6	30	16,2	22,2	13	4	26,4	19	10	16	22



جدول (٢) : نتائج حساب بارامترات الهواء المعالج في محطة التكثيف ذات المخطط الموضح على الشكل ٥

البارامترات الأولية للهواء			البارامترات على مخرج المجفف		البارامترات على مخرج المبرد الثاني		درجة الحرارة الحافة على مخرج المبرد الثالث	درجة حرارة هواء المستودع
الرطوبة النوعية	درجة الحرارة الحافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النوعية	درجة الحرارة الحافة	درجة الحرارة الحافة	درجة الحرارة الرطبة	$t_4 = t'_3 + 6\text{ }^\circ\text{C}$	$t_r = t_5 + 5\text{ }^\circ\text{C}$
$d_1, \frac{\text{g}}{\text{kgda}}$	$t'_{1,} \text{ }^\circ\text{C}$	$t'_{1,} \text{ }^\circ\text{C}$	$d_2, \frac{\text{g}}{\text{kgda}}$	$t'_{2,} \text{ }^\circ\text{C}$	$t_3 = t'_{1,} + 6\text{ }^\circ\text{C}$	$t'_{3,} \text{ }^\circ\text{C}$		
12	35	22,5	4	54	28,5	13,9	19,9	24,9
12	30	21	4	49,3	27	13,4	19,4	24,4
10	35	21	4	49,3	27	13,4	19,4	24,4
10	30	19,5	4	44,4	25,5	12,7	18,7	23,7
8	35	19,5	4	44,4	25,5	12,7	18,7	23,7
8	30	18	4	39,9	24	12	18	23
6	35	18	4	39,9	24	12	18	23
6	30	16,2	4	34,9	22,2	11,3	17,3	22,3

جدول ٣ : نتائج حساب بارامترات الهواء المعالج في محطة التكثيف ذات المخطط الموضح على الشكل ٦

البارامترات الأولية للهواء			البارامترات على مخرج المبرد الأول		درجة الحرارة الحافة على مخرج المبرد الثاني	درجة حرارة الهواء الداخلي
الرطوبة النوعية	درجة الحرارة الحافة	درجة الحرارة الرطبة	درجة الحرارة الحافة	درجة الحرارة الرطبة	$t_3 = t'_2 + 6\text{ }^\circ\text{C}$	$t_r = t_3 + 5\text{ }^\circ\text{C}$
$d_1, \frac{\text{g}}{\text{kgda}}$	$t'_{1,} \text{ }^\circ\text{C}$	$t'_{1,} \text{ }^\circ\text{C}$	$t_2 = t'_{1,} + 6\text{ }^\circ\text{C}$	$t'_{2,} \text{ }^\circ\text{C}$		
5	44	20,1	26,1	14	20	25
5	40	18,8	24,8	13,4	19,4	24,4
5	35	17,2	23,2	12,8	18,8	23,8
5	30	14,4	20,4	11,6	17,6	22,6
4	44	19,3	25,3	12,6	18,6	23,6
4	40	18	24	12	18	23
4	35	16,3	22,3	11,5	17,5	22,5
4	30	14,5	20,5	10,5	16,5	21,5



المراجع :

- [٩] و. ي. كوكورين . التبريد التبخيري لاجل تكييف الهواء . موسكو ، ١٩٦٥ ، ١٥٩ صفحة .
- [١٠] م. ب. راياك . المناطق المناخية للتبريد التبخيري للهواء // مجلة التزويد بالماء والتقنية الصحية . ١٩٦٥ ، العدد ٤ ، الصفحة ٢٩/٣٥ .
- [١١] أ. ب. تسيمرمان ، ب. س. ماسيوتسينكو ، إ. م. بينشيرسكايا . مبرد هواء بالتبخير الغير مباشر من النوع الجديد // مجلة تقنية التبريد . ١٩٧٦ ، عدد ٣ ، صفحة ١٨/٢١ .
- [١٢] أ. ب. دورشينكو ، ك. إ. رجببشيفسكي ، ت. ب. تيتارينكو ، و. ب. لينفينوف . مبرداة قليلة الحجم من نوع التبخير الغير مباشر // مسائل بناء السفن . ١٩٨١ ، عدد ٨ ، صفحة ٤٥/٥١ .
- [١٣] و. ي. كوكورين . محطات تكييف الهواء . موسكو ، ١٩٧٨ ، ٢٦٤ صفحة .
- [١٤] م. ب. راياك . البحث التجريبي على المبادل الحراري للتبريد التبخيري الغير مباشر ذو الصفائح المريشة // مجلة تكييف الهواء . ١٩٦٦ ، عدد ١٨ ، صفحة ٥٠/٧٠ .
- [١٥] ب. ن. غولويكوف ، ب. إ. بيئاتاشكوفا ، ت. م. رومانوفا . تكييف الهواء ، التدفئة والتهوية . موسكو ، ١٩٨٢ ، ٢٢٢ صفحة .
- [١٦] ر. م. لايجينسكي . تكييف الهواء . موسكو ، ١٩٦٢ ، ٣٥٢ صفحة .
- [١٧] يو. ف. زاخاروف . محطات تكييف الهواء وآلات التبريد للسفن . ١٩٧٩ ، ٥٨٢ صفحة .
- [١٨] ب. أ. تاران . النظام الاسمي لعمل مبادلات التبريد التبخيري للهواء : ملخص رسالة دكتوراة في العلوم التقنية . أوديسا ، ١٩٨٤ ، ١٨ صفحة .
- [١] أ. ف. زابورسين ، أ. أ. دمريوك . تجفيف وتبريد السكر الناعم في الطبقة الشبه مميعة؛ موسكو : الصناعة الغذائية ، ١٩٧٩ ، ١٠٤ صفحات.
- [٢] أ. ف. زابورسين ، ف. ن. غولو بينكوف ، ل. ك. كرسيك ، ر. تاجييف . إرشادات حول استثمار المستودعات الصومعية لتخزين السكر الناعم بدون حاويات . كييف : معهد البحث العلمي لصناعة السكر لعموم الاتحاد السوفييتي . ١٩٧٨ ، ١٢٧ صفحة .
- [٣] و. ي. كوكورين ، ف. أ. ميخائيلوف . استخدام التبريد التبخيري الغير مباشر للعربات الزراعية وعربات تشييد الطرق // مجلة التزويد بالماء والتقنية الصحية . موسكو ، ١٩٧٣ ، العدد ١١ ، صفحة ١٩/١٧ .
- [٤] ف. ن. بوغوسلوفسكي ، و. ي. كوكورين ، ل. ف. بيتروف . تكييف الهواء والتزويد بالبرد . موسكو ، ١٩٨٥ ، ٢٦٧ صفحة .
- [٥] ف. أ. روزينثال . دراسة اجراء امتصاص الابخرة من الهواء بوساطة السيليكون - في مجمع تقنية التجفيف . موسكو ، ١٩٦٢ ، صفحة ٥٧/٧٦ .
- [٦] يو. ك. روسكو فشينكو ، علي عيسى . لاجل حساب المجففات الامتزازية في محطات تكييف الهواء // التحكم بمناخ الابنية المسخنة (مختصر مواضيع هامة) . تشليابينسك ، ١٩٨٦ ، ٥٠ صفحة .
- [٧] إرشادات حول حساب أجهزة وانظمة التبريد التبخيري الغير مباشر . طشقند : معهد البحث العلمي للطاقة بطشقند ، ١٩٧٧ ، ٨٩ صفحة .
- [٨] Maclaine J.L., Banks. P.J Agereral of wet surface heat exchangers and l'ts application to regenerative evaporative cooling // Tpanzaction of the ASME. Journal of heat transfer. 1981- vol. 103 - P. 579 - 585.

