الفصل التاسع

معالجة التلوث الحرارى لمياه التبريد

Treatment of Thermal Discharge of Waste Heat and Thermal Pollution

١- مقدمة:

يمكن إعتبار الحرارة كمصدر للتلوث وذلك نتيجة إضافتها أو إزالتها من الماء وحدوث تغير فى التفاعلات البيوكيميائية، تدمير الكائنات المائية، وتغير نمط الحياة المائية وكذلك خفض نوعية المياه.

يمكن تعريف التلوث الحرارى بأنه التغير الكبير فى درجة حرارة الماء بسبب الإزالة أو الإضافة للحرارة خلال الأنشطة التنموية.

معظم الصناعات المنتجة للحرارة هى محطات توليد الطاقة الكهربية (باستخدام الوقود الطبيعى من الفحم أو الغاز أو الوقود الذرى)، معامل تكرير البترول، مصانع الصلب، المصانع الكيماوية، مصانع السورق ولب الورق. أما باقى الصناعات مثل صناعة منتجات الألبان... الخ فإنها أقل إنتاجا للحرارة. ولكن فى هذه الدراسة سيتم تناول التلوث الحرارى للمياه المستقبلة عند إضافة حرارة من مصادر صناعية، حيث معظمها من صرف مياه تبريد المكثفات من محطات توليد البخار لإنتاج الطاقة الكهربية.

obeikandl.com

الصرف الحرارى لمياه التبريد على المسطحات المائية له تأثيرات طبيعية وكيميائية وبيولوجية وذلك فى حالة زيادة حرارة مياه الصرف عن ٥°م عن حرارة المياه فى المسطحات المائية التى يتم الصرف عليها طبقا لقانون البيئة ٩٤/٤.

أ- التأثيرات الطبيعية:

الصرف الحرارى يزيد درجة حرارة المياه المستقبلة. زيادة درجة الحرارة للماء يمكن إعتبارها ضارة أو مفيدة حسب طبيعة الاستخدام للمياه. فمثلاً المياه الساخنة تقل قيمتها عند استخدامها لأغراض التبريد والشرب. وعلى الجانب الآخر فإن المياه الدافئة تقلل تكاليف الكيماويات فى محطات معالجة المياه.

يؤثر التغير فى درجة الحرارة كل الخواص الطبيعية للمياه وهى الكثافة، اللزوجة، ضغط البخار والجذب السطحى، إذابة الغازات فى الماء ومن بينها غاز الأكسجين المذاب فى الماء. كذلك من المهم المحافظة على درجة الحرارة لنمو الكائنات النباتية والتى تموت بإرتفاع درجات الحرارة، حيث إنها مصدر جيد للأكسجين المذاب فى الماء أثناء النهار.

ب- التأثيرات الكيميائية:

زيادة درجة حرارة الماء تزيد من معدل التفاعلات الكيميائية حيث يزداد معدل التفاعل بنسبة ٤,٧% لكل زيادة فى درجة الحرارة ١°م. وكذلك زيادة درجة الحرارة تزيد من الأكسجين الحيوى (BOD) اللازم للتحلل البيولوجى للمواد العضوية المذابة والعالقة، حيث يزداد الأكسجين الحيوى بمعدل ٢% لكل إرتفاع فى درجة الحرارة ١°م.

جـ- التأثيرات البيولوجية:

إرتفاع درجة حرارة الماء يؤثر على معدل النمو للكائنات المائية وكذلك على معدلات التكاثر والتنفس أو الموت. ولكن إرتفاع درجة الحرارة فى حدود ٥-٧°م

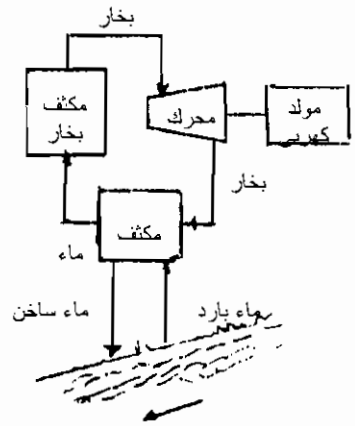
يمكن تحمله. إن زيادة زمن التعرض لدرجة الحرارة المرتفعة يضاعف من تأثيرها السلبى على الكائنات المائية. الأسماك تقاوم مؤقتا درجة الحرارة المرتفعة حتى ٣٤°م، وإن كانت تتأقلم مع درجات الحرارة المرتفعة أحيانا إلا أن ذلك لايحدث فى حالة إنخفاض درجة الحرارة. يزداد معدل التنفس للاسماك ومتطلبات الغذاء مع إرتفاع درجة الحرارة. يمكن للأسماك أن تقاوم لعدة درجات أقل من درجات الحرارة القاتلة المرتفعة ولذلك فإن الأسماك تبحث دائما عن درجة الحرارة المفضلة. كذلك يزداد تأثير السمية لبعض المواد على الأسماك بإرتفاع درجة الحرارة.

٢- آلية التخلص من حرارة مياه التبريد: Mechanism of Heat Dissipation

نقل الحرارة من مكثف تبريد المياه إلى الجو تتم عادة بطريقتين: وهما الصرف المباشر لمياه التبريد إلى مسطحات المياه حيث يتم التخلص من الحرارة الزائدة بطريقة طبيعية، باستخدام تجهيزات التبريد مثل أحواض التبريد أو أبراج التبريد للتخلص من الحرارة الزائدة. فى حالة الصرف المباشر فإنه يتم بطريقتين وهما الصرف السطحى والصرف أسفل سطح الماء.

الصرف السطحى عبارة عن نظام مكون من ماسورة التى تتدفق منها مياه الصرف الحرارى إلى سطح المياه المستقلة، أو بإستخدام هدار تتدفق من فوقه المياه الساخنة إلى سطح المسطح المائى.

نظام الصرف تحت السطحى يتكون من ماسورة وعدة نافورات (Nozzles) موضوعة أسفل سطح الماء. هذا يمكن الصرف الحرارى من الخروج بسرعات عالية واختلاطه بالماء البارد. نظرية الصرف تحت السطحى تعود إلى طفو المياه الساخنة إلى أعلا وكذلك بفعل السرعة العالية للبثق التى تتراوح ما بين ١٠-١٥ قدم فى المثابة شكل (٩/١).



شكل (٩/١) نظام التبريد مرة واحدة

٣- نظم التبريد: *Cooling Systems*

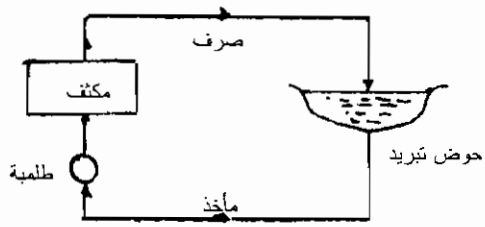
أ- التبريد بالتبخير (Evaporative Cooling)

(١) أحواض التبريد

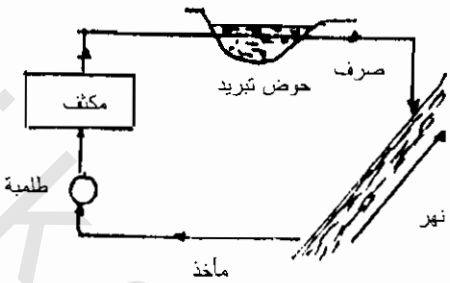
وهذه هى أبسط طريقة للتخلص من الحرارة الزائدة كما أنها قليلة التكلفة وذلك فى حالة توفر مساحات من الأراضى. وهذه الأحواض تتراوح فى العمق ما بين ٦-٨ قدم كما أنها يمكن أن تعمل لمدة زمنية طويلة يوجد ثلاث أنوع من هذه الأحواض وهى:

- الأحواض تامة الخلط حيث تكون درجة الحرارة واحدة خلال الحوض.
- الأحواض ذات التدفق الداخلى حيث تنخفض درجة الحرارة باستمرار مع تحرك المياه من المأخذ إلى المخرج. مأخذ المصنع يمكن أن يوضع عند مخرج الحوض، وبذا يوفر دائرة مقفلة، أو أن مخرج الحوض يمكن أن يصرف الماء إلى مسطح مائى طبيعى. وبذا يتوفر نظام الدائرة المفتوحة شكل (٩/٢)، شكل (٩/٣).

obeikandl.com



شكل (٩/٢) بركة تبريد – الدورة المقفلة



شكل (٩/٣) بركة التبريد – الدورة المقفلة

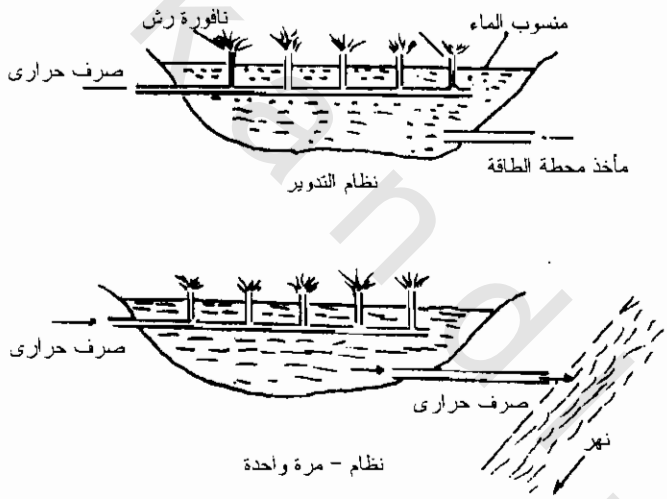
- الأحواض ذات الدوران الداخلى حيث المياه الساخنة ترتفع فوق المياه الباردة.

عند تصميم أحواض التبريد فإن العامل الهام هو المساحة السطحية المطلوبة لتبريد الصرف الحرارى، نظرا لأن الانتقال الحرارى يحدث غالبا عند السطح. المساحة السطحية المطلوبة هى هكتار لكل طاقة ميجاوات بالنسبة للمحطات التى تعمل بالوقود التقليدى (Fossil)، ١,٥ – ٢ هكتار للمحطات التى تعمل بالوقود النووى. زمن المكث فى أحواض التبريد أطول مقارنة بأبراج التبريد.

(٢) أحواض الرش (Spray Ponds)

أحواض الرش هى أحواض تبريد مطورة حيث أنها تحتوى على نظام تبريد مكون من نافورات فى مواسير مثقبة شكل (٩/٤). نظام الرش يفتت المياه الساخنة

إلى نقاط مياه صغيرة بقطر ٠,٣٨ إلى ٠,٥ بوصة. وهذه النقاط الصغيرة توفر أكبر سطح للمياه لتسهيل الإنتقال الحرارى إلى الجو أفضل من الإنتقال الحرارى من أحواض التبريد. أحيانا تزود أحواض الرش بفتحات حماية مستطيلة مائلة لخروج المياه وخفض الفقد. تصميم حوض الرش يتوقف على الظروف المناخية، سرعة الرياح، وتوفر الأراضى. معدل الإنتقال الحرارى لأحواض الرش يتراوح ما بين ٤٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ وحدة حرارية فى الساعة على القدم المربع ($Btu/h/ft^2$). حوض الرش يمكن أن يتكون من نظام الرش الثابت، حيث أوضاع المواسير والنافورات يكون ثابتا أو نظام الرش يكون متغيرا حيث الوحدات المحتوية على عدة نافورات تستخدم فى رش المياه الساخنة.

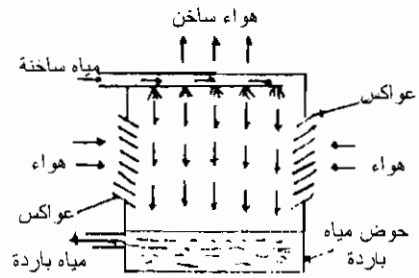


شكل (٩/٤) برك الرش

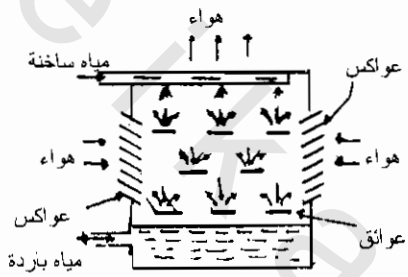
(٣) الأبراج الهوائية (Atmospheric Towers)

فى الأبراج الهوائية يتم ضخ المياه الساخنة إلى أعلا ثم يتم رشه إلى أسفل خلال فتحات. يدخل الهواء إلى برج التبريد خلال الفتحات المائلة المستطيلة

(Louvered) الموجودة فى الاجناب ويتدفق خلال إتجاه عرضى. الـهواء الساخن المحمل بالرطوبة يرتفع إلى أعلا ويتم صرفه خلال قمة البرج. تتوقف حركة الهواء خلال البرج على سرعة الرياح خارج البرج. يوجد نوعين من الأبراج الهوائية الشكل (٩/٥) حيث تفتت النافورات المياه إلى نقاط صغيرة، الأبراج الهوائية المجهز بعوائق شكل (٩/٦) والتى تعمل على زيادة سطح المياه المعرضة. هذه الأنواع من الأبراج الهوائية ليست شائعة الإستخدام حاليا وإن كان استخدامها مقصورا فقط فى حالة عدم الاهتمام بارتفاع درجة الحرارة.



شكل (٩/٥) حوض الرش الهوائى



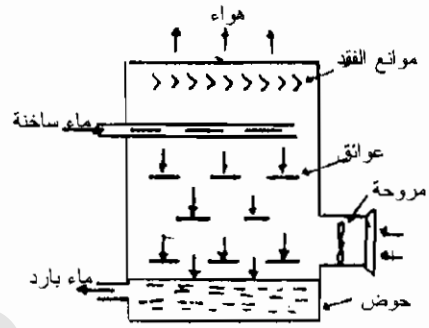
شكل (٩/٦) حوض العوائق الهوائى

(٤) أبراج السحب الميكانيكى (Mechanical Draft)

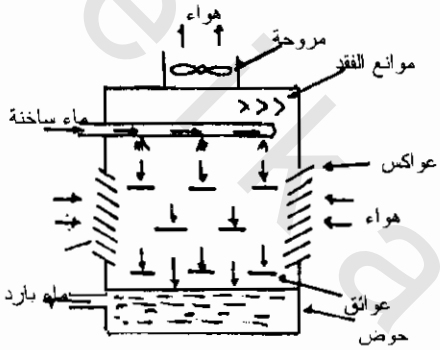
أبراج السحب الميكانيكى بتبخير المياه. حيث يستخدم لذلك برج مصنوع من الخشب أو من الخرسانة به حشو من الخشب أو من البلاستك والذى تسقط فوقه المياه لتتكون حبيبات صغيرة من قطرات الماء. يستخدم فى هذا النوع من الأبراج مراوح لتوفير حركة الهواء خلال برج التبريد. المراوح يمكن أن يتم وضعها إما عند المأخذ حيث تدفع الهواء خلال البرج أو عند نهاية المخرج حيث توفر تدفق الهواء يوجد نوعين من أبراج التحشية وهما التحشية للتشتت حيث تتشتت المياه إلى طبقات رقيقة متجاورة. السائد فى أبراج السحب الميكانيكى هو التحشيه للتشتت

(Splash Packing). تجهز هذه الأبراج بتجهيزات لمنع الفقد والتسرب للمياه فى الجو.

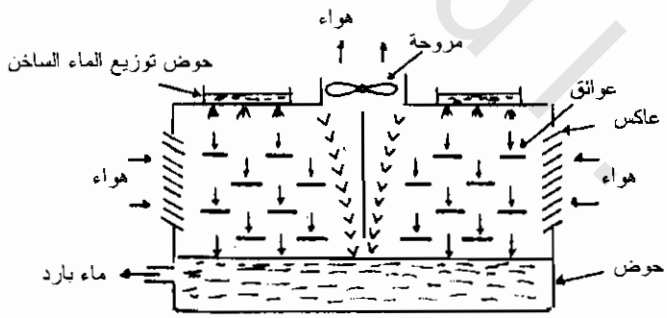
يوجد نوعين من أبراج السحب الميكانيكى وهما أبراج دفع الهواء حيث تركب المراوح عند المدخل شكل (٩/٧)، أبراج سحب الهواء حيث المراوح عند المخرج شكل (٩/٨). يوجد نوعين من أبراج سحب الهواء حيث تكون مروحة أو أكثر عند نهاية المخرج للبرج، حيث يسحب الهواء خلال البرج. يكون تدفق الهواء إما معاكس شكل (٩/٨) أو متقاطع شكل (٩/٩).



شكل (٩/٧) برج دفع الهواء



شكل (٩/٨) حوض دفع الهواء بالتدفق المعاكس

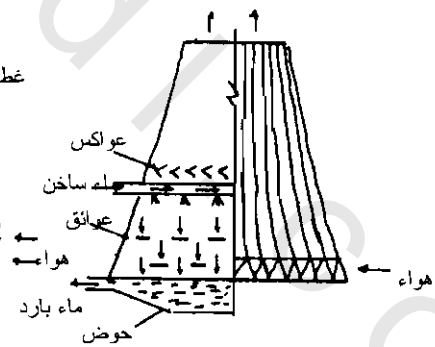


شكل (٩/٩) برج سحب الهواء بالتدفق المتقاطع

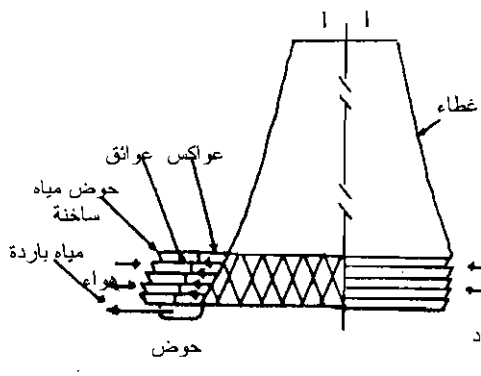
(٥) أبراج التبريد بالسحب الطبيعى للهواء (Natural Draft)

أبراج التبريد بالسحب الطبيعى للهواء عبارة عن منشأ مرتفع حيث يقل المقطع مع الإرتفاع (Hyperbolic). هذه الأبراج تسبب الفقد فى الحرارة كما فى حالة أبراج السحب الميكانيكى للهواء. يتدفق الهواء خلال البرج طبيعيا بسبب وجود إرتفاع متناقص فى المقطع والذى يعمل على سحب الهواء بدلا من المراوح، حيث يتدفق الهواء طبيعيا لوجود فرق فى الكثافة ما بين الهواء الداخلى والخارجى وكذلك بسبب الفرق فى الضغط الجوى بسبب إرتفاع البرج. يمتص الهواء الحرارة وبخار الماء حيث يحدث تبريد للماء الساخن، وبذا تنخفض كثافة الهواء بما يسبب صعوده خلال البرج. مع إرتفاع الهواء الساخن والرطب، فإنه يتم السحب الطبيعى للهواء خلال البرج وبذا يظل التدفق المستمر للهواء.

يبلغ إرتفاع هذه الأبراج حتى ١٥٠ متر. والقاع به مواد تحشيه أو إعاقة لنظام توزيع المياه والفتحات لتدفق الهواء بإرتفاع ٧-١٠متر. يوجد نوعين من هذه الأبراج وهما بالتدفق المعاكس شكل (٩/١٠)، بالتدفق المتقاطع شكل (٩/١١).



شكل (٩/١٠) برج التهوية الطبيعية بالتدفق المعاكس



شكل (٩/١١) برج التهوية الطبيعية بالتدفق المتقاطع

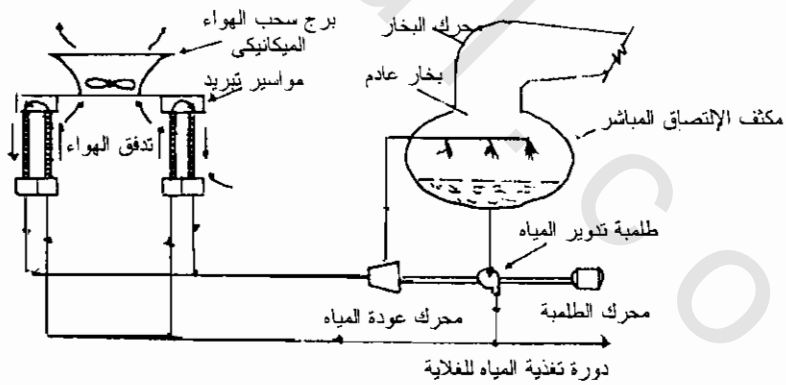
ب- التبريد بدون تبخير (Nonevaporative Cooling)

فى التبريد بدون تبخير أو التبريد الجاف يتم إنتقال الحرارة إلى الهواء بالتوصل الحرارى (Induction and Convection) وليس بالتبخير حيث استمرار تدفق الهواء خلال نظام التبريد مع عدم التصاقه مباشرة مع مياه تبريد المكثف أو البخار المطلوب تكثيفه.

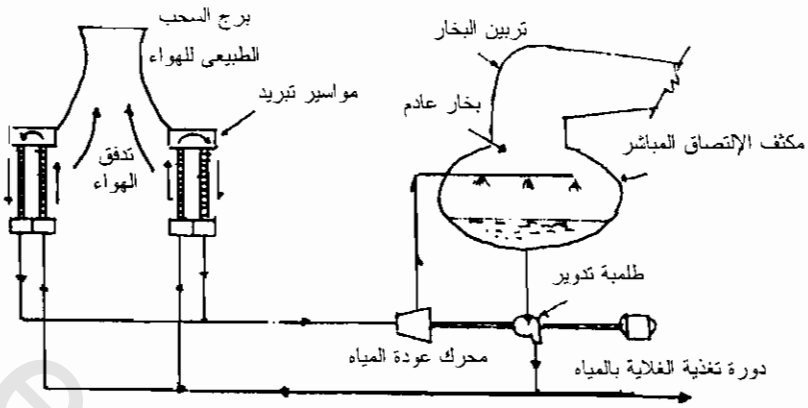
يوجد نوعين من نظام التبريد بدون تبخير وهما النظام المباشر والغير مباشر.

(١) النظام الغير مباشر (Indirect System)

يستخدم فى هذا النظام المكثف بالالتصاق المباشر لتكثيف البخار الخارج من المحرك. يتم ضخ الماء من المكثف إلى برج التبريد الجاف ثم تعاد المياه الباردة إلى نظام الرش فى مكثف الالتصاق المباشر. مكونات النظام غير المباشر هى مكثف الالتصاق المباشر، طلمبات تدوير المياه، محرك إستعادة المياه، مواسير تبريد، برج السحب الطبيعى أو الميكانيكى للهواء لتوفير حركة الهواء المطلوبة. شكل (٩/١٢) يوضح النظام غير المباشر بالدفع الميكانيكى للهواء، الشكل (٩/١٣) يوضح برج السحب الطبيعى للهواء.



شكل (٩/١٢) نظام تبريد غير مباشر - برج سحب الهواء ميكانيكيا



شكل (٩/١٣) نظام التبريد الجاف الغير مباشر ببرج التهوية الطبيعية

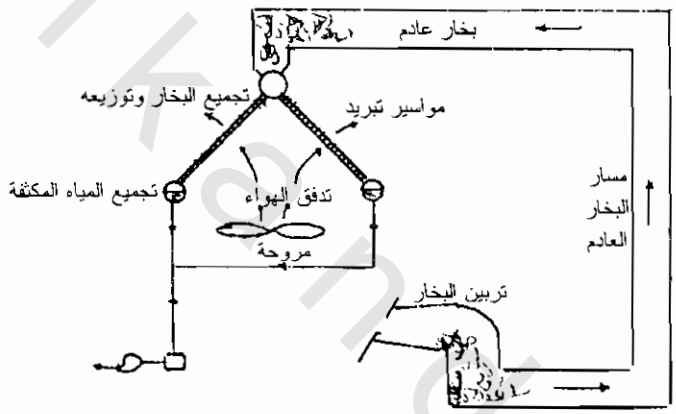
يعمل النظام غير المباشر كالآتى:

يتم رشك المياه الباردة من مواسير التبريد بالالتصاق المباشر فى المكثف الذى يستقبل البخار الخارج من المحرك. تختلط المياه الباردة مباشرة مع البخار وتعمل على تكثيفه. خليط البخار المكثف والمياه الباردة من برج التبريد يتم صرفها من المكثف بالتدوير والطلمبات. كمية مياه مساوية للبخار المكثف من المحرك تدفع إلى الغلاية لإعادة تبخيرها. الحجم المتبقى يوجه إلى مواسير التبريد لتبريده. تظل المحافظة على ضغط موجب فى النظام فيمته ٣ قدم (١ متر) وذلك لمنع تسرب الهواء. يتم تنفيذ ذلك إما بواسطة محبس خانق (Throttle Valve) أو بواسطة محرك عودة المياه مركب فى ماسورة الصرف من البرج.

(٢) النظام المباشر (Direct System)

فى هذا النظام يتم تكثيف البخار العادم من المحرك فى مواسير التبريد وليس فى المكثف المباشر. المكونات الرئيسية هى: حاصدة البخار، مواسير التبريد،

مراوح لتحريك الهواء، طلمبات المياه المكثفة. الشكل (٩/١٤) يوضح مخطط لبرج النظام المباشر. فى هذا النظام يدفع البخار العادم من المحرك إلى مواسير التبريد خلال حاصدة بخار العادم. مواسير التبريد بها زعانف معدنية التى توفر المساحة السطحية الضرورية للانتقال الحرارى. يدفع الهواء بواسطة مروحة طبقا للحاجة لتكثيف البخار. زعانف مواسير التبريد تنشأ كما فى الشكل (٩/١٤) أو قد تكون فى شكل حزم مواسير أفقية. يتدفق البخار والبخار المكثف فى نفس الإتجاه، وبذا ينخفض الفقد فى الضغط مع زيادة معدل الانتقال الحرارى.



شكل (٩/١٤) برج التبريد المباشر الجاف