

الدكتور

محمد جهاد الملاقي

أستاذ مساعد في كلية الهندسة
الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

مولدات البنار

حقوقه التأليف والطبع والنشر محفوظة لجامعة دمشق

-١٤٢٤ - ١٤٢٣
—
م ٢٠٠٣ - ٢٠٠٢

منشورات جامعة دمشق

الكتور

محمد لال الملاقي

أستاذ مساعد في كلية الهندسة

الميكانيكية والكهربائية

جامعة دمشق

مولود البنار

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لجامعة دمشق

المقدمة

• الطاقة . الهندسة الميكانيكية بعد ان كان يدرس جزئيا في مقرر محطات ادرج مقرر مولدات البخار ضمن الخطة الدراسية الجديدة لقسم

يعتبر بخار الماء حاملاً مناسباً للطاقة لما له من مميزات عديدة من حيث سهولة الحصول ومن حيث خواصه الحرارية ، ويقوّي البناء بوصفه حسماً التشغيل في محطات الطاقة الحرارية البخارية

كما ويستخدم في كثير من التطبيقات الصناعية مثل المكابس والمطارات البحارية وفي الصناعات العدائية والكيميائية والنسيجية ويعنى الكتاب بشكل اساسي بمولادات البحار المستخدمة في محطات الطاقة الا ان ذلك لا يقلل من اهمية الابحاث الواردة بالنسبة للمجالات الاحرى المذكورة .

يسهل الفصل الاول محظوظ تقني مفصل عن توليد البحار ، يوضح وظائف مختلف عناصر مولادات البحار ، وتشتمل الفصول التالية اهم البحوث المتعلقة بتوليد البحار بدءاً بخصائص الوقود وعناصر نظرية الاحتراق التي يستند اليها في تصميم اجهزة الاحتراق وحتى حساب الاسقال الحراري في سطوح التسخين الذي يعتمد في تصميم هذه السطوح .
يستعرض الكتاب بشكل مسهب الظواهر والعمليات المرافقة لانتاج البحار ، ففي الفصل السابع ترد ابحاث اعداد المياه لمولد البحار والنظام المائي له ، وفي الفصل التاسع ترد الاسس النظرية التي يتم بموجبها اختيار عناصر المسار الهوائي الغازي ، مثل المراوح التي تدفع ، هواء ، الاحتراق او لواقط الرماد التي تفصل الرماد عن نواتج الاحتراق الغازية .

يختتم الكتاب بفصل قصير عن مولادات البحار العاملة على الوقود النوري تستعرض فيه مواصفات عناصر المولادات وخصائصها .

د. محمد جلال الملقي

الفصل الأول

تصنيف مولدات البخار والمخطط التقني لانتاج البخار

١- المخطط التقني لانتاج البخار

* تستخدم مولدات البخار لانتاج بخار الماء وهي تصنف من حيث وظائفها الى تجهيزات طاقوية و اخرى صناعية ، ويمكن ايضا استخدامها لعدة اغراض في آن واحد ، مثلاً يهدف التدفئة المركزية ولانتاج

بخار الماء المحمض .

* تتالف مولدات البخار من المروج ومن اجهزة اخرى مساعدة اهمها الممحص ، الموفر ، مسخن الهواء ، جهاز الایقاد ، انسابيب الغاز والهواء ، القطاء ، اجهزة التحكم والتسطيم واخيرا - اجهزة الفحص والتنظيف . * تستخدم الاجهزه المساعدة لتحضير وايصال الوقود والماء ولازالة الرماد ولطرح غازات الاحتراق ، ووايضا لايصال هواء الاحتراق (جهاز التهوية) ، هناك ايضا اجهزة التحكم الالى والمراقبة .

سر تحضير بخار الماء على المراحل التالية :

١- الاحتراق الوقود ،

٢- التبخير

٣- التقطيع

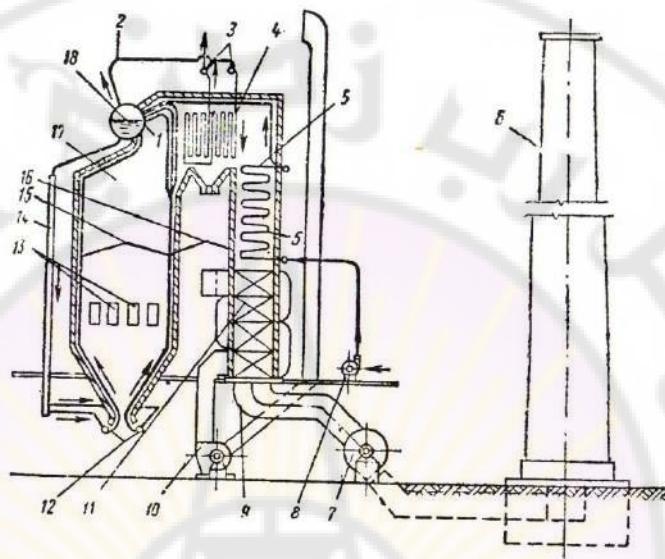
٤- التسخين

٥- التبخار

٦- التحكم

٧- المراقبة

٢٦ انتقال حرارة غازات الاحتراق الساخنة الى الماء او البخار
٢٧ انتاج الـبخار (تسخين الماء حتى الغليان ومن ثم التحبيص)
على الشكل ١-١ نرى مخططًا اساسيًا لمولد الـبخار ، يصل الوقود
إلى الموقد (١٧) من خلال الحرّاق (١٣) ، من الموقد تسير
سوائل الاحتراق إلى ممر الغاز ، حيث يتواجد محمض الـبخار (٤) ،
وبعد ذلك تصل سوائل الاحتراق إلى منجم الحمل حيث يتواجد الموفر
(٥) ومسخن الهواء (١١) ، تسحب غازات الاحتراق بواسطة
مروحة الامتصاص (٧) إلى المدخنة (٦) في طريقها إلى
الوسط الخارجي ، تتم مروحة التهوية (١٠) مولد الـبخار بالهواء
اللازم للاحتراق الذي يسخن في المبادل الحراري (١٤) .
تمر مياه التغذية بعد تعرضها لسلسلة من العمليات الحرارية
والكيميائية على مضخة التغذية (٨) ، ومنها تسير عبر الموفر
وبعد ذلك إلى الحلة (١٨) .
تناسب مياه الحلة بعد اختلاطها مع مياه التغذية عبر الأنابيب
الهابطة (١٤) ثم تلتقي في الأنابيب الموزع (١٢) ، من
الأخير تصدع المياه عبر أنابيب الـبخار (أنابيب المعاكس) (١٥) ،
ومن ثم يعود الخليط المائي الـبخاري إلى الحلة (١٨) وفيها
يُفَرِّطُ الـبخار عن الماء ، يسیر الـبخار الـرطب عبر الأنابيب (٢)
إلى المحمص (٤) ، ومن مجمع الـبخار المحمص (٣) يذهب
الأخير إلى المستهلك .



الشكل (١-١): مخطط مولد البارد.

- ١- المرجل ، ٢- انباب التوصيل ، ٣- مجمعات المحمص ، ٤- المحمص
- ٥- الموفر ، ٦- المدخنة ، ٧- مروحة الامتصاص ، ٨- مضخة التقدية
- ٩- مخرج نواتج الاحتراق ، ١٠- مروحة التهوية ، ١١- مسخن الهواء
- ١٢- مجمعات المعاكس ، ١٣- الحرارات ، ١٤- الانابيب الهابطة ،
- ١٥- العواكس ، ١٦- الغلاف ، ١٧- الموقد ، ١٨- الحلبة .

يغطى موقد البارد من الخارج بالعلف ١٦ ويتألف من المواد المقاومة للحرارة العالية ولانتقال الطاقة الحرارية الى الوسط الخارجي .

٢-١ مولدات البخار وتصنيفاتها

I تتضمن التجهيزات المرجلية المعدة للتدفئة المركزية والتي يكون الضغط في مراجلها أقل من $P_c = 0.17 \text{ MPa}$ والحرارة أقل من $T = 388^\circ\text{K}$ إلى فئة الضغط المنخفض والتي تصنع خزانات مراجلها من الحديد الزهر أو الفولاذ ، ويتميز حديد الزهر بأنه مقاوم للاكسدة ولكنه سريع العطب .

II في مولدات البخار الطاقوية ، تستخدم المراجل ذات الضغط المنخفض $P_c = 0.8 \div 1.6 \text{ MPa}$ والمتوسط $P_c = 2.4 \div 4 \text{ MPa}$ والمرتفع $P_c = 10 \div 14 \text{ MPa}$ والعالي $P_c = 25 \div 30 \text{ MPa}$ وفي الصناعة لاسباب فنية وتكنولوجية عديدة يعمد إلى تحديد المواصفات الأساسية لمولدات البخار على أساس مؤشرات حالة البخار المنتج (T, P) وعلى أساس الانتاجية .

III مثال على ذلك تقسم مولدات البخار إلى ذات الانتاجية المنخفضة (30 kg/sec) والانتاجية المتوسطة حتى (500 kg/sec) والانتاجية المرتفعة (فوق 30 kg/sec) وقد تصل إلى 500 kg/sec .

يمكنا تقسيم كافة تصميمات المولدات البخارية إلى نوعين :

١- مولدات الأنابيب الفارغة *نابيب فارغ*

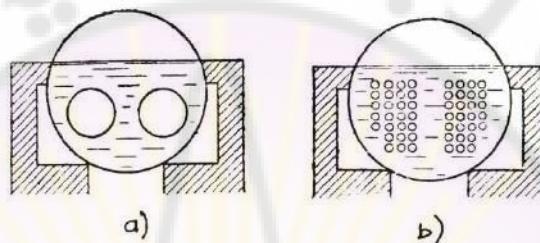
٢- مولدات الأنابيب المائية *نابيب ماء*

في النوع الأول (الشكل ٢-١ a , b) تتواجد سطوح التسخين الأساسية داخل الوعاء الاسطواني ذي القطر الكبير .

- (١) نبضات دampascus University
- (٢) أكياس من الألياف المنشطة لتصفية الماء
- (٣) في ذلك الأنابيب مستويات متدرجة لارتفاع سطح الماء

* يتم استهدافه بالغول، وفتح المدخل لسفرها إلى مدن عازلة
الاحتلال، وذلك في هذه لفترة

وتتألف سطح التسخين من أنابيب احتراق كما هو مبين على الشكل ٢-١، أو أنابيب تمر فيها نواتج الاحتراق الغازية (الشكل ٢-٥، ٦، ٧).



الشكل (٢-١) : مخطط المولدات ذات أنابيب الاحتراق.

٤) وسائل الاحتراف (b) .

بعيد وذلك لأسباب عديدة أهمها :

اولاً انخفاض الضغط العامل المسموح به ($M_p = 1,8 \div 1,5$)
 وثانياً لضعف انتاجها ،
 وثالثاً لطول زمن الایقاد فيها بسبب الانتقال الحراري الرديء ،
 ورابعاً لكبر حجمها، وهذا يعني أنها تشغل مساحة كبيرة وباستهلك
 لصنوعها قدر كبير من المعدن الغالي الثمين .

تعتبر مولدات الانابيب المائية اكثـر عصرية وتطوراً بالمقارنة مع نظيرتها ذات الانابيب الفارغة ، فهي تحتوي على سطوح كبيرة للتسخين مولفة من الانابيب الممتلئة بالماء المسخن او بالخليل المائي البخاري .

وسيخن السطوح الخارجية لهذه الانابيب بالأشعاع او بالحمل من قبل

نواتج الاحتراق العازية .

• تقسم مولدات الانابيب المائية بدورها؛ بـالنواتج لوضعية الاخرة داخل المواء والآفاقية تمثل الانابيب المائية فيها بزاوية تقل عن 25° بالنسبة للافق والى شاقولية تكون زاوية الميل فيها اكبر من الزاوية المذكورة .

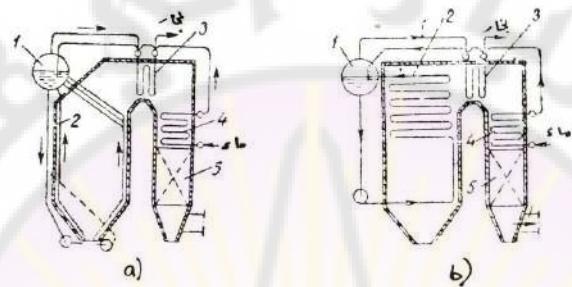
• بصورة عامة في تصميمات مولدات الانابيب المائية جرى التخلص من سطوح التسخين العائدة للحالة، ويجرى ذلك عن طريق التحكم في عدد حزم الانابيب وعدد الانابيب في كل حزمة وذلك دون اللجوء الى زيادة اقطار الحلة كل ذلك يعني توفر امكانية رفع الضغط - العامل للبخار المنتج ومن المهم يمكن بالنسبة لمولدات الانابيب المائية تأمين التبريد الكافي والاكيid لسطح التسخين فيها ، ويتم ذلك عن طريق التنظيم الصحيح لسير البخار والماء فيها .

• نواتج تبعا لطابع حركة جسم التشغيل في سطح السخن تقسم مولدات الانابيب المائية الى الاصناف التالية :

- 1- مولدات الدوران الطبيعي ! ←
- 2- مولدات الدوران القسري ! ←
- 3- مولدات الجريان المباشر . ←

• في مولدات الدوران الطبيعي (الشكل ٣-١ ، a) يتحرك الماء ضمن اطار معلق يتتألف من الحلة ، الانبوب الهابط ، انبوب الموزع ، انباب المعماكس ، واخيرا الحلة . وتحدد الدورة المذكورة بتأثير فرق كثافة الماء قبل وبعد التسخين .

في مولدات الدوران القسري (الشكل ٣-١ ط) يضاف الى دورة البخار ما يسمى بمضخة الدوران او مهمتها احداث الفجف الكافي للتغلب على المقاومة الهيدروليكيه للاطار .



الشكل (٣-١) : مخططات مولدات الدوران الطبيعي .

(a) والقسري (ط)

- ١- خزان الحلة ، ٢- سطوح البخار ، ٣- محمص البخار ،
- ٤- الموففر ، ٥- مسخن الهواء .

في الوقت الحاضر يجري تطوير مختلف تصميمات المراجل المائية حسب الاتجاهات التالية :

- ١- رفع انتاحية المولد مع رفع مؤشرات حالة البخار المنتج ،
- ٢- تحسين مردود المولد ،
- ٣- تحقيق مستوى عال من الاستثمار الآمن والخلوي من الاعطال ،
- ٤- تحفيض كلف تصنيع وجمع وصيانة المولد .

تحقّق مولدات الانابيب المائية العمودية اهم الميزة المذكورة ←

ومن مميزاتها أنها صغيرة الحجم نسبياً ، وبإمكانها استخدام الانابيب

داد الاقطار الصغيرة ويسهل ايضا جمعها مع مختلف تصميمات المواقد وهي الى جانب كل ذلك موثوقة (قليلة الاعطال) عند الاستثمار .

من المفهوم انه مع تصغير اقطار الانابيب المرحلية تزداد سطوح التسخين فيها بسرعة اكبر ويزاد ايضا معامل الانتقال الحراري من الغازات الى الماء او البخار ، ولكن في نفس الوقت تزداد المقاومات الهيدروليكية للسطوح الداخلية للانابيب ، ان ذلك دعا الى تصميم مولادات الدوران القسري .

ادى رفع الضغط العامل في المراجل الى ازدياد السريع لسمكية الانابيب والحلة حتى ($m^{0.1}$) ، ان ذلك عُقد بصورة محسنة الطرق التكنولوجية لتصنيع المرجل وبالتالي ادى الى رفع ثمنه .

ومن ساحة اخر ادى ازدياد الضغط الى اشتعال الدوران الطبيعي للماء والبخار ، كل هذه العوامل بمجملها دعت الى ظهور التصميمات الحديثة للمراجل والتي يستغنى فيها تدريجيا عن الحلقة ، ويتشكل ما يدعى مولادات الجريان المباشر .

في الاخير تحول الماء الآتي الى بخار مشبع ومن ثم الى بخار محمى من خلال مروره عبر مختلف عناصر المرجل على التسلسل (السكل ١ - ٤) .

تمر مياه التغذية خلال الموفر الحولي 6 وبعد ذلك تصل مباشرة الى انابيب المعاكس المصنوعة على شكل حلزوني ، والمتوازية والمتلتصقة بجدار الموقف .

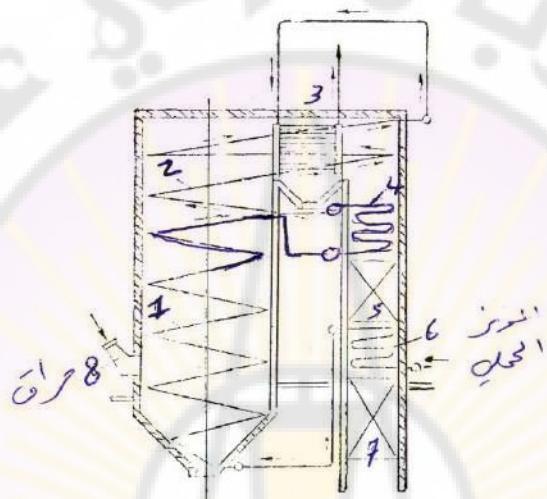
يسخن الماء في الحزء الاولى حتى درجة الاشباح ، وفي الحزء الوسطى للانابيب يتحول الماء الى بخار حاد بدرجة ٧٥ - ٩٠ % .

نهاية التصنيع = حقيقة زار
ستة فحص حماي - حمل لبنة يتم حبسها في المحمص حرارة
محمد ناصر احمد محمد

ثم يتحول المزيج الناتج الى قسم التسخين الحملي المنطقة الانتقالية 4 حيث يجفف نهائياً ويتحول جزئياً الى بخار محمص، يتبع الاخير تحميصه في المحمص لأشعاعي 2 ثم يصل الى درجة الحرارة المطلوبة في المحمص الحملي 3 . في المنتج الهابط لمولد البخار تتوضع المرحلة الاولى (حسب اتجاه نوافذ)
الاحتراق الفازية) والثانية 5 ، 7 لتسخين الهواء يمكننا ادراج اهم السلبيات في مولدات الجريان المباشر من خلال البيود التالية :

- 1- المتطلبات العالية لنظافة وخلو مياه التغذية من الشوائب والمحاليل ،
- 2- انخفاض الاحتياطي المخزون من الماء نظراً لغياب الحلة ، مما يؤدي الى ظهور اخطار عديدة ، وبالاخص في حالة توقف احد الاجراء الاساسية للمرجل، او في حالة انفجار احد الانابيب ، ان ذلك يخلق صعوبات عديدة امام جملة التحكم الالي التي يجب ان تكون بدورها اوتوماتيكية وبدون عطالة .
- 3- المقاومة الهيدروليكيه العالية للمرجل وهذا ما يؤدي الى زيادة الاستطاعة المستهلكة لتدوير مضخة التغذية .

لقيت مولدات الجريان المباشر انتشاراً واسعاً في السنوات الاخيرة على الرغم من العيوب المذكورة وذلك لانتاجيتها ومردودها العاليين .



الشكل (٤-١) مخطط مولد الجريان المباشر .

- ١- سطح التسخين الاشعاعي السفلي ، ٢- محمص اشعاعي ،
- ٣- قسم التحميص الحملي ، ٤- سطح التسخين الانتقالي ،
- ٦- الموفر الحملي ، ٨ - حـ راق .
- ٧٠٥ - المرحلة الاولى والثانية لتسخين الهواء ،

٣- المميزات الأساسية لمولدات البخار

١- مؤشرات البخار المحمص : وتحدد بالضغط والحرارة عند المجمع الخروجي للمحمص ، وهناك مولدات البخار ذات الضغط المتوسط (4.0 MPa) ، والعالي ($14 \div 10 \text{ MPa}$) ، وفوق الحرج (25.5 MPa) .

٢- انتاجية البخار (الاستطاعة) :

وهي كمية البخار المنتجة في وحدة الزمن ، يجري حساب مولد البخار من أجل الانتاجية الاسمية D_n ! وهي عبارة عن الحمولة الاعظمية التي يستطيع المولد انتاجها على الوقود الحسابي بثبات ، وذلك ضمن حدود المؤشرات الاقتصادية المقررة

٣- نظافة البخار المحمص : يتضمن البخار المحمص بكمية الشوائب المرافقة له ، وبكمية الشوائب المسموح بها ، ويجب انتاج البخار مع حد ادنى من الشوائب لما في ذلك من اهمية كبيرة لعمل الاجهزة المستهلكة للبخار .

٤- المردود : وهو مؤشر اساسي لفعالية التجهيز المرجلي الاقتصادية وهو عبارة عن نسبة كمية الحرارة المستخدمة في مولد البخار الى كمية الحرارة المطروحة نتيجة لاحراق الوقود .

٥- مؤشرات الوثوقية : وابن هذه المؤشرات هو عدد التوقفات الاضطرارية ، فمع انخفاض هذا المؤشر نقول ان مولد البخار  يعمل ثباتاً وضمن مؤشرات اقتصادية واستثمارية عالية .
وبالاضافة الى عدد التوقفات هناك مؤشرات اخرى لدموثوقية ذكر منها ما يلي :

٦ معامل استخدام وقت العمل : اي نسبة اسمرار العامل

بالساعات خلال السنة الى عدد ساعات السنة التقويمية :

$$k_t = \frac{C_t}{8760} : (1-1)$$

٧- معامل التحصيل :

$$k_h = \frac{D_m}{D_n} : (2-1)$$

حيث ان D_m - هو الانتاجية المترتبة لمولد البخار

خلال الزمن العامل ويعطى بالعلاقة :

$$D_m = \frac{\sum D}{C_t} : (3-1)$$

٨ - كمية البخار الاجمالية المنتجة فعلياً خلال العام .

٩ - معامل استخدام الاستطاعة المحصلة : وهو عبارة عن نسبة

الانتاجية الاجمالية الفعلية السنوية
الى $\sum D$ الاستطاعة الاسمية خلال الساعة .

$$k_u = \frac{\sum D}{8760 \cdot D_n} : (4-1)$$

وبالنتيجة نجد ما يلي :

$$k_u = k_t \cdot k_h : (5-1)$$

$$\frac{\sum D}{8760 \cdot D_n} = \frac{C_t}{8760} \cdot \frac{D_m}{D_n} = \frac{C_t}{8760} \cdot \frac{\sum D}{C_t \cdot D_n}$$

الفصل الثالث

احتراق الوقود العضوي

١-٢ انواع الوقود وتركيبه

الوقود هو عبارة عن المادة القابلة ل الاحتراق ، التي تستعمل كمصدر لانتاج الطاقة الحرارية ، ويجري اختيار نوع الوقود الذي

يزمع استخدامه في مولد البخار بالاعتماد على الدراسات الاقتصادية

التي تبرر هذا الاختيار ، وتأخذ هذه الدراسات يعين الاعتبار عوامل

عديدة اهمها : وجود الاحتياطات الكافية لنوع الوقود ، كلفة الاستخراج والنقل والتحضير ، نوعية الوقود الحرارية (كمية الطاقة

الحرارية الناتجة عن احتراق واحدة الكتلة او الحجم) ، النشاط الكيميائي للوقود ، نسب الشوائب الماءة والمواد الغير محترقة .

يعتبر الوقود العضوي في الوقت الحاضر مصدرا اساسيا للطاقة الحرارية والكهربائية والميكانيكية ، والى جانب الوقود العضوي

يزداد الاعتماد على الوقود النووي اكثر فأكثر ، ينشر الوقود

النووي الطاقة كنتيجة لتحليل شوئ العناصر الثقيلة مثل Pu^{239} ،

U^{235} ، U^{238} في المعاملات الذرية .

تقسم كافة انواع الوقود العضوي من حيث الحالة الفيزيائية

إلى وقود صلب وسائل وغاري ، ومن ناحية اخرى تقسم الى انواع

طبيعية تستخرج من سطح الارض ، وآخر اصطناعية ، تنتج عن

المعاملة الحرارية للوقود الطبيعي .

في الجدول ١-٦ يرد ترتيب لانواع الوقود العضوي مرتبة حسب حالتها الفيزيائية وشكل استخدامها :

الجدول ١-٦

الحالة الفيزيائية			الوقود
غاز	سائل	صلب	
الفاز الطبيعي	البترول	(نـ) الخشب ، الطورب ، الفحم الحجري ، الانتراستيت .	طبيعي
الفاز السقطي الفاز الكوكسي	مازوت، زيت الکار (كيروسين)	الفحم الخشبي ، شبيه الكوك، الكوك ،	
غاز افران الطلب	البنزين	الغبار الفحمي .	اصطناعي

- ١- التركيب الابتدائي للوقود العضوي الصلب والسائل
يتتألف الوقود الصلب والسائل من جملة معقدة من المركبات
العضوية واللاعضوية ، من ضمنها مركبات قابلة للاحتراق و اخرى غير

قابلة للاحتراق .

حتى وقتنا الحاضر لم تكتمل الابحاث المتعلقة بتركيب الجزء القابل للاحتراق، وهو ما يصعب عملية وضع صيغة كيميائية للمركبات العضوية ، على العكس من ذلك فان تركيب الجزء اللاعضوي من الوقود مدروس بالتفصيل .

يتميز الوقود العضوي الصلب بتركيبه الابتدائي ، وهو عبارة عن مجموع العناصر والمركبات الداخلة في الوقود .
ويعطى التركيب الابتدائي على شكل نسبة مئوية من كل واحد كيلو غرام من الوقود ،
من المفهوم ان التركيب الابتدائي للوقود لا يبين البنية الجزيئية والكيميائية للوقود ، ويكتفى كتابة التركيب الابتدائي للوقود المدلب والسائل على الشكل التالي :



تنتمي العناصر S_v : H ; C إلى الجزء القابل للاحتراق S_v هي النسبة المئوية للكبريت القابل للانفلات، والذي يدخل في المركبات العضوية وفي مادة كبريت الحديد FeS_2 هناك جزء آخر من كبريت الوقود غير قابل للاحتراق ، ويدخل في المركبات مثل : $FeSO_4$ ، $MgSO_4$ ، $CaSO_4$ ، وفي مركبات أخرى ، ويسمى بالكبريت السلفاتي . في كتلة الوقود يدخل جزء غير قابل للاحتراق ، ويتألف من غبار الاوزوت N والاوكسجين O_2 والرطوبة W ومن الرماد المتبقى

A . بعد الاحتراق

لدراسة خواص الوقود الصلب والسائل نميز بين الكتل والتركيبات
العاملة ، الجافة ، المعروفة ، وآخرًا الكتلة العضوية .

يقيم الوقود وتركيبه في حالته الجاهزة للاحتراق وبعد وصوله إلى المستهلك ، بما يسمى بالكتلة والتركيب العاملين ، ويعطى الأخير —

بالصيغة التالية :

$$C^P + H^P + S_v^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100\% \quad (2-2)$$

في التركيب الجاف تختفي الرطوبة ويمكننا تعديله على الشكل التالي:

$$C^c + H^c + S_v^c + O^c + N^c + A^c = 100\% \quad (3-2)$$

ويمكننا ايجاد النسب المئوية لمركبات الكتلة الجافة بدلالة النسب المئوية للكتلة العاملة :

$$C^c = C^P \frac{100}{100 - W^P} ; \quad H^c = H^P \frac{100}{100 - W^P} ; \quad (4-2)$$

في الكتلة المحترقة للوقود تهمل النسب المئوية للشوائب الخارجية وهي الرماد والرطوبة :

$$C^g + H^g + S_v^g + O^g + N^g = 100\% \quad (5-2)$$

حيث بالذكر هنا ان نسبة الكتلة المحترقة هي تعبير شرطي بحسب
والمقابل يعتبر التركيب المحترق احد اهم خصائص الوقود ويتعلق
بركيبي الكتلة المحترقة بشرط وطابع تكون الوقود العضوي وبعمره
الجيولوجي ، يمكننا حساب النسبة المئوية للكتلة المحترقة بدلاً
من نظائرها في الكتلة الجافة والعاملة بالعلاقات التالية :

$$C^g = C^c \frac{100}{100 - A^c} = C^p \frac{100}{100 - A^p - W^p} : \quad (6-2)$$

تضم الكتلة العضوية للوقود على الكبريت الداخل في المركبات

العضوية فقط :

$$C^o + H^o + \underbrace{S^o}_{\equiv} + O^o + N^o = 100 \% : \quad (7-2)$$

حيث ان

$$\text{Fe} \swarrow \text{S}^o = S^o_{\text{Fe}} - S^o_K \quad : \quad (8-2)$$

S^o_{Fe} - الكبريت الداخل في كبريت الحديد

ويمكن حساب النسبة المئوية للكتلة العضوية بالعلاقات التالية :

$$C^o = C^g \frac{100}{100 - S^g_K} \quad ; \quad H^o = H^g \frac{100}{100 - S^g_K} : \quad (9-2)$$

في كافة الحسابات الحرارية التقنية يأخذ بتركيب الكتلة العاملة

١٢

لمحة للدرس في الـ ١٢ لـ

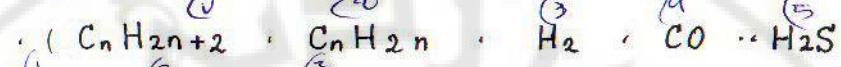
نهـ خـلـ تـيـ رـكـبـ ٢ـ كـحـمـ

۱۰

للوقود ، لأنها تعكس بشكل دقيق حالته قبل الاحتراق .

٢- تركيب الوقود الغازي :

يتالف الوقود الفاري من مجموعة غازات قابلة للاحتراق ()



ومن مجموعة أخرى عديمة الاحتراق (O_2 , CO_2 , N_2)

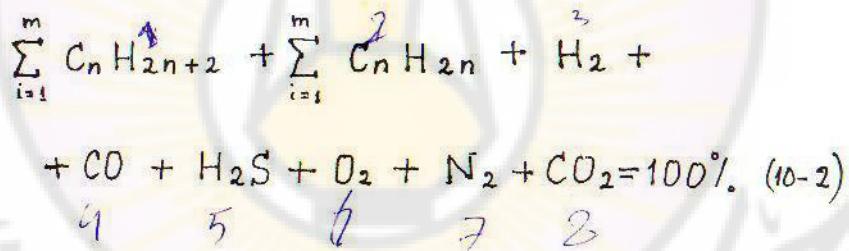
كما يتضمن الوقود الغازي على الرطوبة Kg / m^3

وتشكل المركبات الهيدروكربونية نسبة عالية من المركبات القابلة

للاحتراق ، كمثال نذكر ان الغاز الطبيعي يحتوي 98% من حجمه

- CH_4 على غاز الميثان

يعين تركيب الوقود الغازي بدلالة النسب المئوية الحجمية لعختلف مركباته ، وبصورة عامة يمكننا كتابة التركيب الحجمي بدلالة الصيغ الكيميائية المجملة كما يلي :



تحسب النسبة المئوية الحجمية لمركبات الغاز الرطب من العلاقة التالية :

$$K^h = K^c \frac{0,805}{0,805 + d^g} \quad \% \quad : \quad (11-2)$$

حيث ان K^6 ، K^3 - النسب المئوية الحجمية لمركبات الغاز الرطب

والجاف .

كثافة بخار الماء عند الشروط الفيزيائية النظامية
 $0,805 \text{ kg/m}^3$.

٢-٢ مميزات الوقود العفوي *

١- الوقود الصلب

تعتبر نسب الرطوبة والرماد والمواد الطيارة من أهم المميزات التقنية للوقود فهي تحدد نوع وتصميم مولد البحار والمعدات المساعدة له .

آ - الرماد : يحتوي الوقود المستخرج على بعض المواد المعدنية الغير قابلة للاحتراق ، وتتعرض هذه المواد بتأثير الاحتراق إلى عدد من التحولات يتشكل الرماد بنتيجتها ، ويتشكل الخبث من الرماد المنصهر في حجرة المولد .

* تؤثر مواصفات الرماد الفيريائية على اسلوب تنظيم عملياتي - الاحتراق وطرح الرماد او الخبث ، كما يخفي الرماد من قيمة الوقود الحرارية ، ويزيد من عkalيف النقل والحفظ والاستخراج كما ويزيد من اهتراء واتساع سطوح التسخين ويزيد من المقارمة المحددة لسيكة لعسار غازات الاحتراق ويخفي من فعالية الانتقال الحراري ويساهم بالنتيجة مردود مولد البحار .

ب - الرطوبة : يعيز عادة بين انواع الرطوبة المتثبتة ميكانيكيا ، والشعرية ، والغروية ، والبليورية .

١ ينتج النوع الاول المتثبت ميكانيكيا عن الاسباب الخارجية مثل

المطر ، ويتعلق على سطح الوقود ، ويتأثر بحجم جزيئاته .

٢ تدخل الرطوبة الشعرية في مسامات الوقود ، اما الرطوبتين الفروية

والبليورية فتعتبران جزءاً من الوقود .

٣ يتبع نتائج التجفيف كل من الرطوبة المتبقية ميكانيكياً والشعرية

وجزءاً من الرطوبة الفروية ٤ اما الجزء المتبقى من الرطوبة فيمكن

تبخيره عند درجات الحرارة العالية .

٥ تتحدد رطوبة الوقود العامل W^o بطريقة التجفيف فـ

العابر عند درجة الحرارة 105°C .

٦ تشكل رطوبة الوقود عبئاً اضافياً عليه ، فهي تزيد من تكاليف نقله

٧ وتخفض من قيمته الحرارية (حرارة الاحتراق الدنيا) وتنقص من

حجم نواتج الاحتراق ٨ مما يؤدي إلى زيادة المصرف الكهربائي على

مراوح الامتصاص ٩ كما وتشكل عاماً مساعداً لاكتسدة معادن سطوح التسخين

١٠ كما يمكن للرطوبة ان تغير من الصفات الفيزيائية للوقود ١١ فتتغير

١٢ مثلاً درجة سيلان مسحوق الفحم ضمن النواقل او قد يتجمد الوقود عند

عند درجات الحرارة المنخفضة .

١٣ - المواد الطيارة وفحm الكوك : يتحلل الوقود عند تسخينه

معزز عن الهواء الى قسمين : اولهما غازات وابخرة طيارة ،

وثانيهما جسم صلب هو فحم الكوك ، وتحدد كمية المواد الطيارة كنسبة

من الكتلة المحترفة ، ويجري ذلك في شروط مخبرية بتسخين ١٤

١٥ من الوقود عند درجة الحرارة 850°C معزز عن الهواء خلال سبعة

دقائق وبمساعدة التغص في كتلة العينة المخبرية تتحدد نسبة المواد

الطيارة .

تعتبر نسبة المود الطيارة في الوقود الصلب احدي اهم خصائصه
حيث يتعلق بها طابع واسلوب تنظيم احتراق الوقود .

٢- الوقود السائل

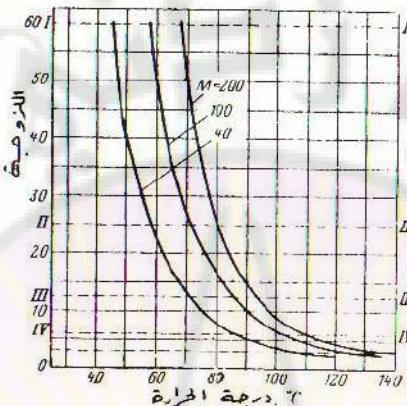
يعتبر البترول مصدر اساسيا لاستخراج انواع الوقود الصناعية السائلة، كما يمكن الحصول على الوقود السائل من تقطير بعض انواع الفحم ويشغل المازوت ^{بأنواعه} حيزا هاما بين مختلف الانواع الأخرى. وتؤثر نوعية المازوت على تصميم وعمل مولد السخار ولهذا السبب -
تعسر خواص المازوت : اللزوجة ، المimirات الحرارية ، الكتافنة ^(٣)
والرماد الناتج عنه كخواص تقنية . ^(٤)

آ- اللزوجة :

من اهم خواص المازوت التي تحدد امكانية وشروط استخدامه، وتنفع في اساس تصنيفه . وترتبط لزوجة المازوت بشكل اساسي بدرجة الحرارة (الشكل ٢-١) ، وتنظر هذه العلاقة بشدة في حالة المازوت اللزج ، فمع انخفاض درجة الحرارة ترتفع اللزوجة مما يؤدي الى تمسكه او تجمده ، وتعتبر هذه الاجراءات مختلفة بطبعتها فتتماسك المازوت ينتج عن ارتفاع اللزوجة ويؤدي الى فقد الهيدرو كربونات الغير متبلورة سببها . وبحدث التحمد للهيدروكربونات المتبلورة والتي يصعب انصهارها ، في الاستثمار يعتبر تجمد المازوت في الانابيب والجحوم اشد خطرا من التتماسك .

* توابع الشكل (٢-١) تظهر انه عند التسخين العالى (فوق ٨٠ - ١٠٠ درجة مئوية) تتغير اللزوجة ببطء وذلك لمختلف انواع المازوت ، وهذا يعني ان تغير درجة الحرارة ضمن المجال المذكور

في الاستثمار لا يؤدي إلى آية صعوبات في وصول المازوت إلى الموقد وليس هناك من مبررات لرفع درجة حرارته إلى مستويات عالية.



الشكل (١-٢) : المميزات الحرارية للزوجية لبعض أنواع المازوت وقيمة الزوجية المفضلة لعمل المضخات المكبسة، $I-I$ ، والمضخات النابدة $II-II$ ، ومختلف الرذادات

تؤثر الزوجية الممازوت بشكل جدي على فعالية نقله بالأنابيب، ونوعية ترذيذه ، واحتراقه الكامل .

ب - درجة حرارة التجمد

* وتمثل بدرجة الحرارة الصفرى التي تفقد المازوت خاصية السيولة الكافية لضخه وانصبابه ، وتنعدم درجة حرارة التجمد بالطبيعة $\textcircled{1}$ الكيميائية للبترول الاساسى ، وبعمليات التكرير ، كما وتنعدم $\textcircled{2}$ بالرطوبة المرافقة له .

* تؤثر درجة حرارة التجمد تأثيراً مباشراً على اختيار المخطط التقني

لحفظ ونقل وتقديم المازوت الى الموقذ .

* في حالات ارتفاع درجة التجمد تظهر صعوبات في انصباب المازوت من خزانات العربات الحديدية ، وهذا مما يتطلب تسخينه ، ويزيد في المصارييف الاستثمارية وفي ضياع الوقت .

ج - درجة حرارة الالتهاب :

(١) وتتحدد بدرجة الحرارة التي تلتهب من اجلها ابخرة المازوت الممزوجة بنسبة محددة مع الهواء المحيط ، وذلك عند تلامسها مع لهب مكشوف .

(٢) يمتلك المازوت درجة الالتهاب ١٤٠-٨٠ درجة مئوية ، ولتجنب الحرائق في الجمل المفتوحة يسخن المازوت الى ما دون درجة الالتهاب بنحو عشر درجات مئوية .

(٣) في جمل التسخين المفلقة مثل المبادلات الحرارية المضغوطة يسمح بالتسخين الى مستوى درجة الالتهاب .

د - درجة حرارة الاشتعال :

وهي تلك الدرجة التي يتبع - المازوت من اجلها اشتعل له خلال خمسة ثوان بعد بدء الالتهاب ، وتزيد درجة الاشتعال بنحو ١٥ - ٢٠ درجة مئوية عن درجة الالتهاب .

هـ - الكثافة :

تتميز اغلب انواع المازوت بانخفاض كثافتها (اقل من الواحد) بينما يمتلك البعض كثافة اكبر من الواحد ، وتوفر نسبة المازوت الى الماء على عملية فصل الرطوبة من المازوت .
تفصل رطوبة المازوت ذي الكثافة (عند درجة الحرارة 20°C)

رمل

$\rho^{20} > 1$ بالتركيز في الاحواض ، والامر اعقد بكثير بالنسبة

للمازوت ذي الكثافة $\rho^{20} < 1$ ، حيث يطفو الماء فوق المازوت

ببطء شديد مما يعقد عملية الفصل ، خاصة اذا علمنا ان انواع المازوت

ذات الكثافات العالية تمتلك لزوجة عالية ايضاً تتصلق كثافة المازوت

بدرجة الحرارة . فمع ارتفاع الاخيره تنخفض الكثافة كما تنخفض

اللزوجة ايضاً . والمفهوم ان كل الامرين يؤديان الى تقوية اجراء

فصل الرطوبة .

و - رماد المازوت :

تألف الشوائب المعدنية للمازوت بشكل اساسي من الاملاح الخطولة

في الماء ، والتي تختلط بالبترول من المياه البئرية ، كما وتدخل

الاملاح في تركيب البترول بحد ذاته . عند تكرير البترول تتجتمع

الاملاح المعدنية في التركيبات الثقلية ، ومع ازدياد نسبة الاملاح

في البترول تزداد نسبتها في المازوت ، وتتراوح نسبة الرماد في

المازوت الجاف بنسبة $0,1 \div 0,3 \%$.

يختلف تركيب الاملاح المعدنية في المازوت تبعاً للبترول الاصل

ولطريقة التكرير وتشير اكسيد المعدن القلوية والفالناديوم الموجودة

في المازوت الكبريت صفويات كبيرة 4 حيث تشكل ترسيات قاسية على

سطح التسخين 5 وتنوي اكسيد الفاناديوم الى اكسدة سطح التسخين

في ظروف حرارية معينة .

٣- الغاز الطبيعي

المميزات الاساسية التقنية للغاز الطبيعي هي الكثافة ، قابلية

الانفجار ، السمية ، عملياً اغلب انواع الغاز أقل كثافة من الهواء

نكر

ولهذا السبب تتجمع الغازات المتسرية ضمن الايتونية تحت الاسقف .

آلة الكثافة : عملياً يستخدم مفهوم الكثافة النسبية للفار الذي

هو عبارة عن نسبة كثافة الغاز الى كثافة الهواء ويمكن اجراء

التحوليل كما يلي :

$$\rho = \frac{\rho_n}{\rho_a} \quad (12-2)$$

حيث :

ρ - الكثافة النسبية للفار (بالنسبة للهواء)

ρ_n - كثافة الغاز عند الشروط النظامية :

1.293 kg/m^3 - كثافة الهواء عند الشروط النظامية وتساوي 1.293 kg/m^3

تعين كثافة الغاز الحاف عند الشروط النظامية بالاستفاده من قاعدة التجميع للكشافات مركبات الغاز :

$$\begin{aligned} \rho^c &= 0.072 \text{ CH}_4 + 0.0136 \text{ C}_2\text{H}_6 + 0.0202 \text{ C}_3\text{H}_8 + \\ &+ 0.0126 \text{ C}_4\text{H}_8 + \dots + 0.0198 \text{ CO}_2 + 0.0125 \text{ N}_2 , \end{aligned} \quad (13-2)$$

حيث : CH_4 : C_2H_6 ... الخ الحصص الحجمية

لمركبات الغاز . %

الامثل 0.072 : 0.0136 ... الخ هي معاملات تساوي

كثافات المركبات عند الشروط النظامية مقسمة على 100 ، بسبب

تمثيل المركبات بالنسبة المئوية .

كثافة الغاز الرطب عند الشروط النظامية :

$$\rho_b = \frac{\rho^0 + d^0}{1 + \frac{d^0}{\rho^0}} : \text{kg/m}^3 ; \quad (14-2)$$

حيث :

ρ^0 - كثافة الوقود الغازي الجاف ، kg/m^3

d^0 - الرطوبة في الغاز الجاف ، kg/m^3

ρ - كثافة بخار الماء عند الشروط الفيزيائية النظامية .

ب - قابلية الانفجار :

يمكن لخلط الغاز الطبيعي مع الهواء الممزوج بنسبة معينة ان ينفجر في حالة وجود النار ، ويرافق الانفجار انطلاق كمية كبيرة من الطاقة عند درجة حرارة عالية ، مما يعني امتلاك الخليط لقوه تفجير كبيرة ، وتقع التركيزات الحجمية الخطيرة للغاز الطبيعي في المجال $4,5 \% \pm 13,5 \% \quad (\text{عند } 20^\circ\text{C})$

ج - السعومية :

يعتبر الغاز الطبيعي او بعض مركباته غازات سامة او اهم هذه المركبات اوكسيد الفحم CO وكبريت الهيدروجين H₂S ويؤدي التركيز 1% لغاز CO الى موت الانسان اذا تعرض له خالد - دقائقين . ولهذا السبب يجري فحص هواء الصالات مرتين خلال الوردية

للمعرفة وجود غاز الميتان CH_4 ، لأن ذلك يدل على وجود

بقية المركبات السامة .

(١)

٣-٢ حرارة الاحتراق Q_h

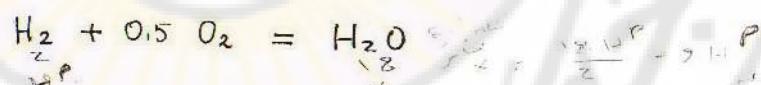
* تعتبر من اهم خصائص الوقود وهي بالتعريف : كمية الطاقة الحرارية الناتجة من الاحتراق ^(١) الكامل لوحدة الكتلة (في حالة الوقود الصلب او السائل) او لوحدة الحجم (الوقود الغاري) ^(٢) محسوبة عند الشروط الفيزيائية النظامية .

* يمكننا التمييز بين حرارة الاحتراق الدنيا Q_b وحرارة الاحتراق العليا Q_h ويساوي الفرق بينهما الى الطاقة الحرارية التي يمكن تلقيها في حالة تكاثف بخار الماء الموجود ضمن نواتج الاحتراق * ومن المعروف ان ابخرة الماء الخارجة مع غازات الاحتراق ^(٣) تنتج عن تبخر الرطوبة الداخلية للوقود ومن احتراق الهيدروجين ومن الرطوبة الداخلية مع هواء الاحتراق .

* لحساب الفرق بين حرارتي الاحتراق الدنيا والعليا نقول ان

حرارة تكاثف kg واحد من بخار الماء تساوي :

$$\Delta r_{\text{H}_2\text{O}} = 2500 \text{ kJ/kg}$$



ينتج انه عند احتراق واحد kg من H_2 نتلقى 9 kg ابخرة ماء، وبالتالي يمكننا حساب الطاقة الحرارية الناتجة من

تكاثف ابخرة الماء المتولدة مع غازات الاحتراق كما يلي :

$$2500 \left(\frac{W^P}{100} + g \frac{H^P}{100} \right) = 25 W^P + 225 H^P$$

ومنه نجد العلاقة المطلوبة بالنسبة لكتلة الوقود العاملة :

$$Q_b^P = Q_h^P - 25 W^P - 225 H^P \quad (15-2)$$

يمكننا تعريف حرارة الاحتراق مخبريا بالاستعانة بمختلف الاجهزه

المعدة لهذا الهدف ، مثلا لقياس حرارة الاحتراق للوقود الصلب

والسائل التفيلي يستعمل الجهاز المعمري المبين على الشكل (٢-٢)

وهو عبارة عن وعاء فولاذي محكم الغلاق **١** يسمى القنبلة ، يملا

عادة بالاركسجين عند الضغط (٣ MPa) ، ويحرق في الوعاء

٢ من عينة الوقود المختبر ، حيث تتوضع القنبلة داخل -

وعاء ممتليء بالماء **٣** ، يوضع الوعاء الاخير بدورة داخل

جهاز الترمومترات **٤** . وتحسب حرارة الاحتراق الدنيا لكتلة

العاملة **Q_b^P** بدلالة الفرق بين درجات حرارة الماء قبل وبعد

الاحتراق والذي يمكن قراءته من الميزان الحراري **٥** وعلى

الشكل (٢-٢) يستعمل المازج **٦** لتأمين التجانس الكافي

في درجات الحرارة بين مختلف ارجاء الوعاء **٢** ، ويحرك

المازج بمساعدة ميكانيزم خاص **٧** .

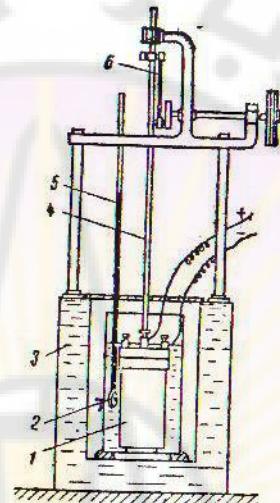
شدة طرق نظرية تقريبية لحساب Q_b^P ، Q_h^P للوقود

الصلب والسائل ، ويمكننا كتابة العلاقات التجريبية التالية لحساب

هذه الكميات :

$$Q_R^P = 340 C^P + 1260 H^P - 109 (O^P - S_v^P) \quad (16-2)$$

$$Q_b^P = 340 C^P + 1035 H^P - 109 (O^P - S_v^P) - 25 W^P \quad (17-2)$$



الشكل (٢-٢) : الجهاز المسحري .

* للمقارنة بين مختلف انواع الوقود من حيث قيمتها الحرارية

استنبط مفهوم الوقود العياري $Q_{b,c}^P$ الذي تساوي حرارة الاحتراق الدنلي

$$\text{له } Q_{b,c}^P = 29300 \text{ KJ/kg}$$

* لحساب مصروف الوقود العياري بدالة نظيره للوقود المستخدم -

نستفيد من العلاقة التالية : $Q_{b,c}^P = Q_b^P \cdot B_c$

$$(Q_{b,c}^P) (B_c) = (Q_b^P \cdot B_c)$$

حيث : B_c مصروف الوقود العياري والمستخدم kg/sec

Q_b^P - حرارة الاحتراق الدنيا لهما

٤-٢ عناصر نظرية الاحتراق

احتراق الوقود عبارة عن اجراء فيزيائي وكيميائي بآن واحد

ويتفاعل فيه الجزء القابل للاحتراق من الوقود مع الموكسد (3) وينتج

عن ذلك انطلاق طاقة حرارية وضوئية ونواتج احتراق غازية (مثل



حيث) . وقد لا يتم الاحتراق بشكل كامل ، وفي هذه الحالة تتشكل

مواد الاحتراق الناقص (مثل C ، H_2 ، CO) .

* تبعاً لطوري مادة الوقود والموكسد يمكننا التمييز بين نوعين

من اسراط الاحتراق :

١- الاحتراق احادي الطور ، مثال على ذلك احتراق الوقود الغازي
ويعطى على الشكل التالي (غاز + غاز) .

٢- الاحتراق ثنائي الطور (في حالة الوقود الصلب والسائل) ويمكن
تمثيله كما يلي (سائل + غاز) او (جسم صلب + غاز) .

* الاحتراق قبل كل شيء تفاعل كيميائي ، يجري عند درجات
الحرارة العالية ، ويتغير فيه تركيب الموارد الداخلة في التفاعل ،

ويدرس علم الترموديناميك الكيميائي الجانب الكيميائي منه وبين
العوامل التي تؤثر في سرعة التفاعل وعمقه ، واتجاهات حدوثه ،

ويمكن للاحتراق أن يتم بسرعة كبيرة لولا تأثير العوامل الفيزيائية
التي تحد من سرعة التفاعل ، وهذه العوامل هي بالأساس سرعة الحمل

الحراري ، والانتقال الاستشاري للمواد الداخلة في التفاعل ،

* وباختصار تتحدد سرعة الاحتراق بالقيمة الدنيا من بين قيم السرعات المؤشرة ، اي سرعة التفاعل الكيميائي وسرعة الانتقال الانبساطي وسرعة الحمل الحراري .

* شكل عام يمكننا اعتبار زمن الاحتراق مساوياً مجموع الازمان اللازمة للعمليات الفيزيائية والكيميائية :

$$\tau_b = \tau_{ph} + \tau_{ch} \quad (19-2)$$

حيث :

١ - τ_{ph} - الزمن اللازم للاحتراق

٢ - τ_{ch} - الازمان اللازم للعمليات الكيميائية والفيزيائية

٣ - احتراق الوقود الغازي

* ان الشرط اللازم لاحتراق الوقود الغازي هو اختلاطه مع المؤكسد O_2 ولبدء الاحتراق يتوجب تحقيق شروط معينة ، ذلك ان سرعة التفاعل تكون صغيرة عند درجات الحرارة المنخفضة ، وعند رفع درجة حرارة المزيج الوقودي الى قيمة ما معينة يبدأ بالالتهاب وفي نفس الوقت ترتفع سرعة التفاعل الكيميائي حتى يصل المزيج الى الملتهب الى حالة ما تصبح كمية الحرارة الناتجة عن الالتهاب كافية لمتابعة الاحتراق ، ويحدث ذلك عند درجة حرارة الاشتعال .

* تتعلق الاخير بعوامل عديدة منها نسبة الوقود في المزيج -

الغازى وشروط الاحتراق ، الخواص الفيزيائية الحرارية للوقود الغازي

* يأخذ اللهب الناتج عن احتراق المزيج الوقودي شكل الشعلة التي تختلف من حجم الغازات المتحركة ويجري فيها الاحتراق .

ويمكّنا التمييز بين طرفيتين لاحتراق الغاز مع المؤكسد في الشعلة ، وهما الطريقة الكيميائية والطريقة الانتشرية -

(النفوذية) ، ثمة حالات وسطية تقع بين الطرفتين المذكورتين .

* في الطريقة الكيميائية يتم مرج الوقود الغازي مع المؤكسد قبل بدء الاحتراق ، وذلك في جهاز المرج التابع للحرق ، وترتبط سرعة الاحتراق في هذه الحالة بشكل اساسي بسرعة التفاعلات الكيميائية ومنه نستنتج ان الزمن اللازم لاحتراق يساوي بشكل تقريري الزمن اللازم للتفاعلات الكيميائية فقط ($\tau_{ch} = \frac{C}{b}$) .

* في طريقة الاحتراق الانتشرية تتم عملية المرج والاحتراق في آن

واحد ، وبذا فإن زمن الاحتراق يساوي الوقت اللازم للعمليات — الفيزيائية ($\tau_{ph} = \frac{C}{b}$) .

* في حالات الاحتراق الكيميائي - الانتشرى يمرج الغاز المحترق جزئياً مع ما يسمى بالهواء الاولى ، وينضم الهواء الثانوى فيما بعد إلى المزيج الملتهب في غرفة الاحتراق .

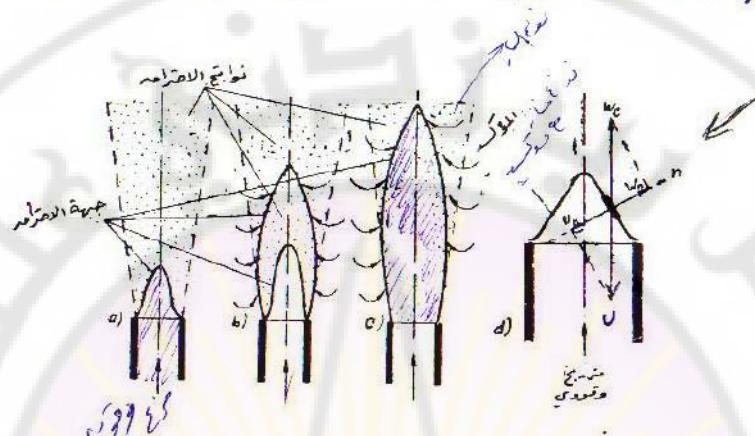
* من المعلوم ان بنية الشعلة وطولها متعلقةان الى حد كبير بنظامي الحريران المعروضين الصفائحى والمتهيج (عدد Re)

ويحدث الاحتراق في منطقة صغيرة تسمى جبهة الاحتراق ، وفي حالة

الاحتراق الكيميائى تأخذ جبهة الاحتراق شكل السطح العازل بين المزيج الغازي الرقودى وبين نواتج الاحتراق .

* في الاحتراق الانتشرى يتشكل ما يسمى بجبهة الاحتراق الانتشرى التي تعتبر فاصلة بين نواتج الاحتراق وبين مزيج الغاز مع نواتج الاحتراق التي تتحرك للقاء الغاز .

في الاحتراق الوسطي تتشكل كلا جبهتي الاحتراق السابقتين ،



الشكل (٣-٢) : بنية الشعلة الكينيماتيكية a ، والمختلطة b ، والانتشارية c ، ومخطط جبهة الاحتراق d .
 W_e - سرعة الجريان ، U_n - سرعة انتشار اللهب الناظمية ،
 W_h - مسقط W_e على النظام n .

على الشكل (٣-٢) تبين بنية شعلة الاحتراق في الحالات المذكورة
 ويتسع المزيرع المندفع نحو الجبهة بفعل الاستقال الحراري (الشعاعي
 والتوصيلي) ، ويتأهب المزيرع الساخن حتى درجة الاشتعال في الجبهة

ذاتها ، ثم تفادر نواتج الاحتراق هذه المنطقة .

تنثار وضعيّة جبهة الاحتراق بعوامل عديدة منها : تركيز الورقoid
 الغاري داخل المزيرع ، سرعة جريان المزيرع ، والشكل الهندسي
 لمحطم انبوية العراق (أ) والخواص الفيزيائية للغاز .

تحرك جبهة الاحتراق في الاتجاه الناظم لسطحها ، ويستمر ذلك

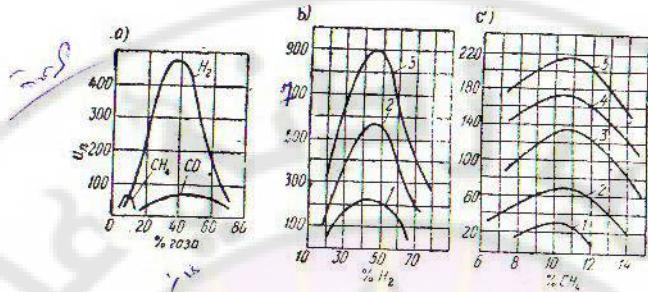
٢

التحرك حتى تتحقق المساواة بين كمية المزيج الوقودي الوارد وبين كمية تواجد الاحتراق ، عند ذاك يتحقق ايضا التوازن الحراري ، وهذا يعني ان الطاقة الحرارية المنتهية من الجبهة تتساوى مع الحرارة المنقولة مع المزيج الوقودي البارد .

* من المعروف ان اللهب يسير بسرعة تساوي U_n ، وادا اخذنا مسقط السرعة المذكورة على الاتجاه الناظم لسطح جبهة الاحتراق ، تشكل لدينا ما يسمى بسرعة اللهب الناظمية U_n والتي تعتبر من اهم خواص احتراق الوقود الغازي ، عند تساوي السرعة U_n مع مسقط سرعة تيار المزيج الوقودي على الاتجاه الناظم للجبهة W_n يقال بان جبهة الاحتراق اصبحت ثابتة بالنسبة لمقطع الانبوبة .

* تتعلق السرعة U_n بعوامل عديدة منها النشاط الكيميائي للغاز الطبيعي ، تركيزه في المزيج الوقودي ، درجة حرارة التسخين الابتدائي (الشكل ٤-٢) ، كما يلعب تركيز الوقود داخل المزيج دورا هاما في عمليات الاحتراق ، ففي الحالة عندما يكون اقل من حده الادنى او اكثرب من الاعلى فان لهب الاحتراق يخبو ثم ينطفئ . تتحدد قابلية الغاز للتفاعل بمستوى طاقة التشغيل ، وهي كمية الطاقة التي يتوجب تقديمها للغاز بهدف رفع المستوى الطاقوي لجزيئاته الى الحد الذي يمكنها من قطع الروابط بين الذرات في الجريئة .

* تتعلق كمية الحرارة المطرودة في جبهة الاحتراق ودرجة الحرارة فيها بتركيز الغاز ضمن المزيج الوقودي * ويرد في التسخين الابتدائي للمزيج الى رفع درجة الحرارة في الجبهة .



شكل (٤-٢) : سادع سرعة انتشار اللهب الناظمية بالنسبة لتركيز الغاز في المزيج a ، وبالنسبة لدرجة حرارة تسخين

المرجع	C, B	٢٠٣ K	٢٠٣ C						
٣١٠ C		١٩٠ C							
٥٨٣ K	-٣	٤٦٣ K	-٢						
٣٥٠ C		٢٠٠ C							
٦٢٣ K	-٣	٤٧٣ K	-٢						

بـ-احتراق الوقود المثلب :

تتألف عملية احتراق الوقود الصلب من المراحل التالية:

- (١) تجفيف الوقود وتسخينه حتى بدء انتشار الغازات الطيارة
 - (٢) التهاب الغازات الطيارة واستعمالها
 - (٣) تسخين فحم الكوك حتى التهابه
 - (٤) احتراق المواد القابلة للاحتراق في فحم الكوك

يُستغرق احتراق فحم الكوك زمناً طويلاً وذلك بالمقارنة مع الازما
اللزمنة لاحتراق المواد الأخرى ، والسبب في ذلك يعود إلى توافق
عملية احتراق فحم الكوك والمواد الطيارة ، علماً بأن الأخيرة

تلعب دوراً مزدوجاً ، فمن ناحية يؤدي احتراقها الى التسخين السريع لفحم الكوك نفسه ^٢ ومن ناحية اخرى فان ذلك يعني تشكيل غيمة من شوائب الاحتراق تحبط جريئة الفحم وتعيق احتراقها .

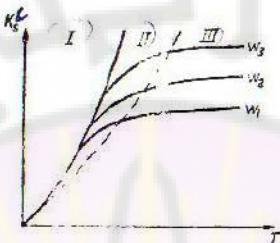
* من كل ذلك يستنتج ان احتراق الوقود الصلب الذي ينشر قليلاً من المواد الطيارة يتطلب وقتاً طويلاً نسبياً بالمقارنة مع الوقود الذي ينشر كثيراً منها . مثلاً الطورب الذي يذهب زمن احتراقه بكامله تقريباً على احتراق المواد الطيارة .

* تتزايد سرعة احتراق الوقود الصلب وهي بالتعريف كتلة الجزيئات المحترقة منسوبة الى سطحها وواحدة الزمن $(\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ مع ارتفاع كل من : النشاط الكيميائي للوقود ، درجة الحرارة ^٣ تركيز المادة المؤكسدة ^٤ . سرعة التهوية لحرق الوقود .

ومن المفهوم ان تنافص ابعاد جريئة الوقود يؤدي الى تزايد سرعة الاحتراق .

١) تتعلق سرعة احتراق الجزيئات بسرعة التفاعلات الكيميائية وسرعة الاجراءات الفيزيائية . وتتحدد سرعة الاحتراق بسرعة الاجراءات الاكثر بطلاً بينهما ! واعتماداً على ذلك يمكننا التفريق بين ثلاثة حالات لتناسب سرعة احتراق جريئة الوقود المطب (الشكل ٥-٢) . وهي ١) المجال الكينيماتيكي والوسطي والانتشاري ، في المجال الاول تتعلق سرعة الاحتراق بدرجة حرارة التفاعل او بكلمة اخرى تتعلق بسرعة التفاعل الكيميائي ، في المجال الوسطي تأخذ سرعة التفاعل الكيميائي وسرعة الانتشار قيمها متساوية وهذا يعني ان كمية المؤكسد تصرف بأكملها على الاحتراق .

ولزيادة الأخيرة يتوجب رفع سرعة التهوية W_1 من w_1 إلى W_2 ؛ W_3 .



الشكل (٥-٢) : تابع سرعة احتراق الوقود الصلب (الانتراست) بالنسبة لدرجة الحرارة T وسرعة التهوية W .
 مناطق الاحتراق : I - كينيماتيكية ، II - مختلطة
 III - انتشارية . سرعات التهوية $W_1 \leq W_2 \leq W_3$.

ج - احتراق الوقود السائل :

في الوقت الحاضر ينتشر بشكل واسع طريقة احرق الوقود السائل بـ شكله العردي ، ذلك ان تردد الوقود السائل يسرع الى حد كبير عملية احتراقه نظراً للارتفاع الكبير لسطح التماس بين الوقود وبين الاوكسجين [ومن الامور الهامة في احتراق الوقود السائل ان درجة حرارة غليانه تقل عن درجة حرارة اشتعاله الذاتي، اي درجة الحرارة الدنيا التي يبدأ عندها احتراق الوقود ومن ثم اشتعاله بمعزل عن اي مصدر حراري آخر . ان درجة الحرارة الاخيرة اعلى من تلك التي يحترق فيها الوقود بمساعدة المصدر الحراري

الجانبي .

* وعلى ذلك نتفهم ميكانيزم احتراق الوقود السائل ، الذي يتطلب

وجود المادة المؤكسدة وتحول الوقود السائل الى الحالة البخارية .

* مما سبق نستنتج ان احتراق الوقود السائل يتطلب المراحل التالية

١- تسخين الوقود ومن ثم تبخيره

٢- مرج بخار الوقود مع المؤكسد

٣- اشتعال المزيج الوقودي المتشكل

٤- احتراق المزيج .

* عند وصول قطرة الوقود الى الفراغ المسخن لدرجة حرارة اعلى

من درجة الاشتعال تبخر جزئيا ، ومن ثم تمتزج مع الهواء مشكلة

المزيج الجاهز للاحتراق ، ببدأ الاشتعال بعدها عندما يصل تركيز

الوقود الى نسبة اعلى من الحد الادنى اللازم للاشتعال ، في المرحلة

التالية تتزايد سرعة الاحتراق ، الذي يعتمد اكثر فأكثر على حرارته

الذاتية ، مما يتسبب في تزايد بخار الوقود وارتفاع الحرارة

الابتدائية للموقد .

* مما سبق ينتج ان عملية احتراق الوقود السائل تتضمن اجرائين

متفاعلين منفصلين احدهما فيزيائى بطبيعته وهو تبخر قطرات الوقود

والثانى كيميائى وهو احتراق المزيج الجاهز للاحتراق .

* وستتعلق سرعة الاحتراق بكل الاجراءات ولذا فان الزمان اللازم لعملية

الاحتراق يتحدد بالاجراء الاكثر بطيئا ، ويشغل زمان البحر اغلبية زمان

الاحتراق ومنه نستنتج ان زيادة دقة تردد السائل تعنى تخفيض الزمان

اللازم لاحتراقه داخل الموقد .

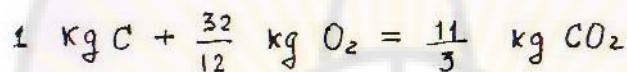
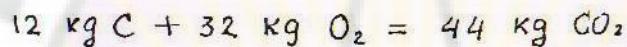
٥-٢ حساب هواء الاحتراق والغازات الناتجة

تفاعل مواد الوقود مع أوكسجين الهواء حسب تناوبات كمية

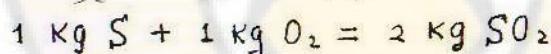
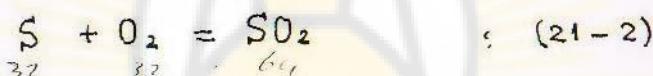
محددة بالتفاعلات الكيميائية للاحتراق .

آ حساب هواء الاحتراق للوقود الصلب والسائل

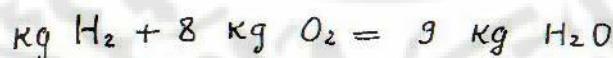
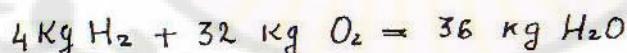
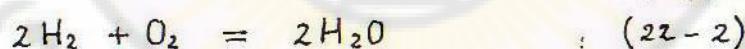
من المعادلات الكيميائية للوقود الصلب والسائل ينتج :



ويحترق الكبريت حسب المعادلة :



الميدروجين :



اعتماداً على النسب المئوية للكتلة العاملة للوقود نقول إن واحد

Kg منه يحوي على :

$H^P/100 \text{ kg}$ فحم : $C^P/100 \text{ kg}$ كربونات طيار ،
 هيدروجين : $O^P/100 \text{ kg}$ اوكسجين ، ومنه نستنتج ان
 كمية الاوكسجين الكلية والازمة نظريا لاحتراق kg واحد من

الوقود تساوي :

$$M_{O_2}^o = \frac{\frac{8}{3}C^P + 8H^P + S_v^P - O^P}{100} : (23-2)$$

ادى علمنا ان نسبة الاوكسجين الكلية داخل الهواء هي 0,232

فيمكنا حساب كتلة الماء الازمة لاحتراق kg واحد من الوقود :

$$M_a^o = \frac{2,67 C^P + 8 H^P + S_v^P - O^P}{100} \cdot \frac{1}{0,232} = 11,2$$

$$M_a^o = 0,115(C^P + 0,375S_v^P) + 0,345H^P$$

$$- 0,045 O^P : (24-2)$$

من الجداول نجد ان كثافة الهواء عند الشروط الفيزيائية النظامية

$$\rho_a^o = 1,293 \text{ kg/m}^3$$

نظريا لاحتراق kg من الوقود الصلب او السائل :

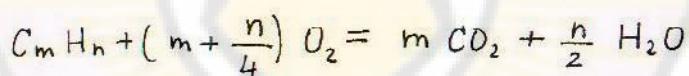
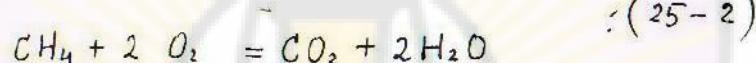
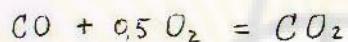
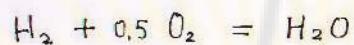
$$V_a^o = \frac{M_a^o}{1,293} \text{ m}^3/\text{kg}$$

او كما يلي :

$$V_a^o = 0,0889 (C^P + 0,375 S_v^P) + 0,265 H^P - 0,033 O^P \quad (24-2)$$

بـ حساب هواء الاحتراق للوقود الغازي

يمكن حساب المعرف الحجمي الهوائي اللازم لاحتراق واحد من الوقود الغازي باستخدام مفهوم النسب الحجمية لمركبات الوقود الغازي . نكتب اولا المعادلات الكيميائية الازمة :



ادى علمنا ان الاوكسجين يشغل نسبة 21% من حجم الهواء في الشروط الفيزيائية النظامية فيمكنا حساب المعرف النظري الحجمي بالعلاقة التالية :

$$V_a^o = 0,0476 [0,5 CO + 0,5 H_2 + 2 CH_4 + 1,5 H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n - O_2] : m^3/m^3 \quad (26-2)$$

نصلب

في الشروط الحقيقية لعمل الموقد لاتؤدي (النسبة النظرية لمصروف الماء) دورها المرجو وذلك لسوء توزيع الهواء على كافة ارجاء الموقد
لذا يضخ اليه كمية من الهواء تزيد عن حاجة الاحتراق النظري

$$\cdot V_a^\circ$$

اما نسبة حجم الهواء الفعلي الى الحجم النظري V_a° فتسمى

$$\alpha \quad \text{معامل فائض الهواء}$$

$$\alpha = \frac{V_r}{V_a^\circ} \quad : \quad (27 - 2)$$

عند تصميم غرف الاحتراق او الموقد يختار المعامل α في المجال :

$$\alpha = 1,02 \div 1,05$$

(ج) تركيب وكمية نواتج الاحتراق التام للوقود الصلب والسائل

تحتوي نواتج الاحتراق عندما تكون متساوية الواحد على الفارات ثلاثية الذرات SO_2 ، CO_2 وعلى بخار الماء H_2O الناتج عن احتراق الهيدروجين ، وغاز الازوت N_2 الناتج عن تحلل الوقود ، والازوت الداخل مع هواء الاحتراق .

عدا عن ذلك تحتوي نواتج الاحتراق على الماء الناتج عن تبخر الرطوبة الداخلية للوقود ، او الآتية مع هواء الاحتراق . كما يمكن للنواتج ان تحتوي على بخار الماء المستعمل لترشيد المازوت .

* في الحالة عندما تكون $\alpha > 1$ ، تتضمن نواتج الاحتراق على كمية إضافية من الاوكسجين والازوت ورطوبة الهواء . لتعط النسب المئوية الحجمية للغازات الرموز التالية :



على الحجوم الناتجة عن احتراق واحدة الكتلة (kg) او الحجم (m³) من الوقود وذلك عندما تكون $\alpha = 1$ (العلامة ° تشير ان $\frac{1}{\alpha} = 1$) وبذلك نكتب التركيب المثوي لغازات الاحتراق كما يلي :



وأيضا : حجم الغازات الناتجة عن احتراق kg او m³ من الوقود :

$$V_g^\circ = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}^\circ \quad (29-2)$$

في العلاقة (29-2) V_g° - الحجم الكلي لنواتج احتراق واحدة الكتلة (او الحجم) عند الشروط الفيزيائية النظامية : m^3/kg او m^3/m^3

للتبسيط سنقول ان حجم الغازات الجافة ثلاثة الذرات يساوي :

$$V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2} \quad (30-2)$$

حجم الغازات الجافة يساوي :

$$V_{C,g}^{\circ} = V_{CO_2} + V_{N_2}^{\circ} \quad : (31-2)$$

ومنه يكون لدينا :

$$V_g^{\circ} = V_{C,g}^{\circ} + V_{H_2O}^{\circ} \quad : (32-2)$$

حيث ان : $V_g^{\circ} : V_{C,g}^{\circ} : V_{H_2O}^{\circ} : V_{N_2}^{\circ}$

هي الحجوم النظرية للفارات الناتجة عن احتراق Kg واحد من الوقود الصلب او السائل .

يمكنا حساب كتلة الغازات الجافة ثلاثية الذرات حسب العلاقة التالية :

$$M_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^P}{100} + \frac{64}{32} \cdot \frac{S_v^P}{100}$$

من الجداول نجد كثافة غازات SO_2 , CO_2 عند الشروط الفيزيائية
 $\rho_{SO_2} = 2.86 \text{ kg/m}^3$: $\rho_{CO_2} = 1.964 \text{ kg/m}^3$ النظامية :

وبذلك يمكننا حساب حجم الغازات الانفحة الذكر :

$$V_{CO_2} = \frac{\frac{44}{12} \cdot \frac{C^P}{100}}{1.964} + \frac{\frac{64}{32} \cdot \frac{S_v^P}{100}}{2.86}$$

$$V_{CO_2} = 1.87 \cdot \frac{C^P + 0.375 S_v^P}{100} \quad : (33-2)$$

يعطى الحجم الكلي لابخرة الماء بالعلامة التالية ($\alpha = 1$)

$$V_{H_2O}^{\circ} = V_{H_2O}^g + V_{H_2O}^c + V_{H_2O}^f + V_{H_2O}^a$$

تمثل الحدود الواردة في العلاقة السابقة على الترتيب حجوم ابخرة الماء الناتجة عن احتراق الهيدروجين ومن الرطوبة الداخلية للوقود والبخار المستخدم لترذيز المازوت ومن الرطوبة الآتية مع الهواء. وتنحدد هذه الكميات بالعلاقات التالية :

$$V_{H_2O}^g = \frac{\frac{36}{4} \frac{H^P}{100}}{0,805} = 0,111 H^P$$

$$V_{H_2O}^c = \frac{\frac{W^P}{100}}{0,805} = 0,0124 W^P$$

$$V_{H_2O}^f = \frac{W_f}{0,805} = 1,24 W_f$$

$$V_{H_2O}^a = \frac{V_a^{\circ} \frac{d^a}{1000}}{0,805} = 0,0161 V_a^{\circ}$$

العدد (0.805) يمثل كثافة بخار الماء عند الشروط الفيزيائية النظامية kg/m^3 .

$d^a = 13 \text{ g/m}^3$ - نسبة رطوبة الهواء وتفرض ان d^a

W_f - مصروف بخار الماء المكرس لترذيد الماء الماروت بخار
 $W_f = 0.3 \div 0.35 \text{ kg/kg}$ ، وبعد التعويض يكون لدينا
 ما يلي :

$$V_{H_2O}^{\circ} = 0.111 H^P + 0.0124 W^P + 1.24 W_f + \\ + 0.0161 V_a^{\circ} \quad (34-2)$$

حجم الازووت الخارج مع نواتج الاحتراق :

$$V_{N_2}^{\circ} = V_a^{\circ} \cdot 0.79 + \frac{N^P}{100 \cdot \rho_{N_2}} : \quad (35-2)$$

حيث : ρ_{N_2} → كثافة الازووت عند الشروط الفيزيائية النظامية

$$\rho_{N_2} = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

نسمى حجم نواتج الاحتراق في الحالة عندما يكون معامل فائض الهواء $\alpha > 1$
 بأنها فعلية ، وعندئذ يضاف حجم الهواء الفائض
 إلى الحجم الناتج عن الاحتراق نظرياً ، ومنه يكون لدينا
 الحجم الفعلي لابخرة الماء :

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^{\circ} + 0.0161 \cdot V_a^{\circ} (\alpha - 1) \quad (36-2)$$

وللغازات ثنائية الذرات :

$$V_R = V_{N_2}^{\circ} + (\alpha - 1) V_a^{\circ} \quad (37-2)$$

وللغازات الجافة :

$$V_{c,g} = V_{RO_2} + V_{N_2} + (\alpha - 1) V_a^{\circ} \quad (38-2)$$

الحجم الفعلي لنواتج الاحتراق التام :

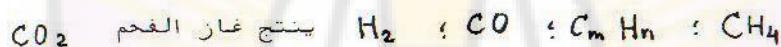
$$V_g = V_{c,g} + V_{H_2O}$$

$$V_g = V_{RO_2} + V_{N_2}^{\circ} + V_{H_2O}^{\circ} + 1.0161 V_a^{\circ} (\alpha - 1) \quad (39-2)$$

من العلاقة تستنتج ان حجوم الغازات الجافة ثلاثة الذرات لا تتأثر من تغير معامل فائض الهواء .

د - تركيب وكمية نواتج الاحتراق التام للوقود الغازي

عند احتراق الغازات المكونة للوقود الغازي وهي :



وابخرة الماء ، اما غاز الكبريت H_2S فينتهي غاز SO_2 -

يمكنا حساب حجم الغازات الجافة ثلاثة الذرات باتباع نفس

الطرق السابقة وذلك عندما يكون $\alpha = 1$:

$$V_{RO_2} = 0.01 [CO_2^c + CO + H_2S + \sum C_m H_n] ,$$

$$\frac{m^3}{m^3} \text{ غاز اهتزازي : } \quad (40-2)$$

حجم بخار الماء عند $\alpha = 1$:

$$V_{H_2O}^{\circ} = 0,01 [H_2S + H_2 + 2 CH_4 + 0,124 d^g + \\ + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 1,61 V_a^{\circ}] \cdot m^3/m^3 : (41-2)$$

في العلاقات السابقة :

d^g - رطوبة الغاز ، g/m^3

CO_2^c - النسبة المئوية الحجمية لغاز ثاني أوكسيد الكاربون

الموجود ضمن الوقود الغازي . يعطى الحجم الفعلي لنواتج الاحتراق
التابع للوقود الغازي عند $\alpha > 1$ بالعلاقة :

$$V_g = V_{CO_2} + V_{H_2O}^{\circ} + 1,0161 (\alpha - 1) + V_{N_2}^{\circ} : (42-2)$$

في العلاقة الأخيرة :

V_a° - مصروف الهواء الحجمي اللازم لاحتراق m^3 واحد من

الوقود الغازي ، m^3/m^3

$V_{N_2}^{\circ}$ - حجم غاز الأزوت عندما يكون $\alpha = 1$ ويحسب بصورة

مشابهة لحسابات الوقود الصلب والسائل .

هناك طرق أخرى لمعرفة التركيب الكيميائي لنواتج الاحتراق ،

منها مثلا التحليل الكيميائي الغازي الذي يستعمل بصورة دائمة

لمراقبة جودة الاحتراق . ولتحقيق ذلك تستخدم الأجهزة الصناعية

المكرسة خصيصا لهذا الهدف .

٦-٢ تسرب الهواء إلى مسار غازات الاحتراق *

يعمل مسار غازات الاحتراق عادة تحت التخلخل ، الذي يأخذ فيما متحولة ، فهو يساوي في أعلى الموقف حوالي $P_4 = 20$ سنتيمتر بزداد قبل مروحة الامتصاص حتى $P_4 = 3000 \div 2000$.
 تبلغ مساحة مولد البخار حسب الابعاد الخارجية 4000 m^2
~~÷ 2000~~ وتحتوي سطوح المولد على عدد كبير من التوافد والفتحات ، التي تكون غير محكمة الاغلاق ، كما توجد بعض الشقوق ضمن جدران المدخل وفي امكانة خروج الانابيب وفي امكانة اخرى .

يؤدي تسرب الهواء خلال الشقوق الى زيادة معامل فاينض الهواء وبذلك يزداد حجم نواتج الاحتراق اعتبارا من الموقف وحتى المقطع الخروجي لمولد البخار .

الشكل (٦-٢) يبين تغير فاينض الهواء على مسار غازات الاحتراق في مولد البخار .

(١) معامل فاينض الهواء عند مخرج الموقف :

$$\alpha_t = \alpha'_{S.C}$$

(٢) خلف المحبس الاولى :

$$\alpha''_{S.C} = \alpha'_{S.C} + 5\alpha_{S.C}$$

$$\alpha''_{S.C} = \alpha_t + 5\alpha_{S.C}$$

(٣) خلف المحبس الوسطي :

$$\alpha''_{np} = \alpha_t + 5\alpha_{S.C} + 5\alpha_{np}$$

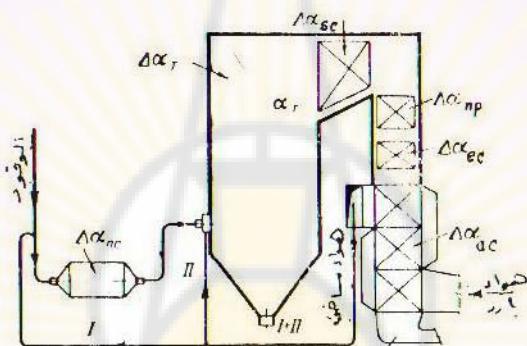
٤) خلف الموفر :

$$\alpha''_{ec} = \alpha_t + \Delta\alpha_{sc} + \Delta\alpha_{np} + \Delta\alpha_{ec}$$

٥) خلف مسخن الهواء :

$$\alpha''_{ac} = \alpha_{yx} = \alpha_t + \Delta\alpha_{sc} + \Delta\alpha_{np} + \Delta\alpha_{ec} + \Delta\alpha_{ac}$$

يجري تثبيت معامل فائق الهواء اطلاقاً من الشروط الاقتصادية



الشكل (٦-٢) : تسرب الهواء الى منشأة مولد البحار .

١- الهواء الاولى ، ٢- الهواء الثانيي .

(٦)

للاحتراق ، وتنطلق نسبة الهواء المتسرب بتصميم وبنوعية تحميم

مولد البحار ، وكذلك الامر بشروط الاستثمار ، وفي الشروط الاعتيادية

ستراوح التسربات في الحدود $0,3 \div 0,2 = \sum \Delta\alpha$ ، وعادة

يعطى اكبر الأهمية لمنع تسرب الهواء السارد الى جوف مولد البحار.

يعدل معامل فائض الهواء α_{ac} بسب التسربات الى الموقف $\Delta\alpha_{ac}$ ؛ والتي جملة تحضير غاز الفحم $\Delta\alpha_{nc}$ ؟ ومن مسخن الهواء $\Delta\alpha_{ac}'$ ؛ ولهذا السبب تعطى قيمته عند مدخل المسخن كما يلي :

$$\boxed{\alpha_{ac} = \alpha_t - \Delta\alpha_t - \Delta\alpha_{nc} + \Delta\alpha'_{ac}} ; (a.43-2)$$

مراقبة تسرب الهواء :

- يكون تركيب الوقود في مرحلة تصميم مولد البخار معيناً، أما معامل فائض الهواء فيتحدد بالاعتماد على معدلات التجربة العملية وبالاستناد على الحساب الحراري؛ الذي يحدد أيضاً حجم غازات الاحتراق بالنسبة لمولدات البخار الواقعة في الاستثمار، يكون تركيب الوقود المستخدم محدداً أيضاً، إلا أن معامل فائض الهواء يظل مجهولاً وهناك عدد من العلاقات لتحديد نورد فيما يلي أكثرها

استخداماً

١- علاقة غاز الفحم

عند الاحتراق الكامل للوقود تتحقق مساواة معامل فائض الهواء للواحد $\alpha = 1$ ، وت تكون نواتج الاحتراق من $\text{RO}_2 + \text{N}_2 = 100\%$ ، وإذا ورد غاز الأزوت فقط من الهواء فإنه يشكل نسبة 79% حجماً، عند تكون القيمة العظمى للمركبات RO_2 متساوية $\text{RO}_2^{\max} = 21\%$ ، عملياً ينتقل الأزوت الداخل في الوقود إلى نواتج الاحتراق، مما يؤدي إلى زيادة نسبة الأزوت

$$\text{فيها ويكون } R\dot{O}_2^{\max} < 21 \%$$

في الشروط العملية ترد إلى الموقن كمية من الهواء أكبر من القيمة اللازمة نظرياً للاحتراق ، عدا عن ذلك يتسرع هواء إضافي

$$R\dot{O}_2 < R\dot{O}_2^{\max}$$

لتنبهن أن نسبتهما تمثل معامل فائض الهواء ولهذا نشكل الجدول التالي :

الجدول ١-٢

حصة $R\dot{O}_2$ في نواتج الاحتراق ، %	$R\dot{O}_2$ حجم الهواء m^3/kg	حجم الهواء m^3/kg	معامل فائض الهواء
$R\dot{O}_2^{\max} = \frac{V_{R\dot{O}_2} \cdot 100}{V_{C,g}}$ $\approx \frac{V_{R\dot{O}_2} \cdot 100}{V_a^{\circ}}$	$V_{R\dot{O}_2}$	V_a°	$\alpha = 1$
$R\dot{O}_2 = \frac{V_{R\dot{O}_2} \cdot 100}{V_{C,g}}$ $\approx \frac{V_{R\dot{O}_2} \cdot 100}{\alpha V_a^{\circ}}$	$V_{R\dot{O}_2}$	αV_a°	$\alpha > 1$

من الجدول ينتج أن :

$$\alpha = \frac{R\dot{O}_2^{\max}}{R\dot{O}_2} \quad (44-2)$$

علاقة الغم المذكورة بسيطة وسهلة الاستعمال لسهولة اطرق تحديد RQ_2 في نواتج الاحتراق ، وتنبع دقة تحديد RQ_2 بدقة تحديد RQ_2^{\max} ، وذلك لأن تركيب الوقود المزود يمكن أن يتغير ، وبالتالي تتغير الكمية RQ_2^{\max} ، مما يتيح استنتاج أن تغيير RQ_2 في الاستثمار لا يؤدي دائمًا إلى العمل على نظام الاحتراق الأمثل .

العلاقة الاوكسجينية -٢

يمكن تمثيل حجم الهواء اللازم نظرياً للاحتراق كما يلي :

$$V_a^* = V_a - \delta V_a$$

V_a^* : حجم الهواء الفعلي وفائض الهواء .

ومنه نستنتج :

$$\alpha = \frac{V_a}{V_a - \delta V_a} = \frac{1}{1 - \frac{\delta V_a}{V_a}} ; \quad (45-2)$$

بافتراض أن حجم الغازات الجافة يساوي 100 %

نكتب النسب التالية :

$$\frac{O_2}{100} = \frac{V_{O_2}}{V_{c.g}} ; \quad \frac{N}{100} = \frac{V_{N_2}}{V_{c.g}} ; \quad (46-2)$$

نكتب حجم الهواء الفائق بدلالة حجم الاوكسجين الحر

$$\Delta V_a = V_{O_2} \cdot \frac{100}{21} \quad : \quad (47-2)$$

ويكون حجم كمية الهواء الفعلية بدلالة الأزوت ، الذي انتقل الى سوائل الاحتراق من الهواء الممزوج للاكسدة كما يلي :

$$V_a = V_{N_2} \cdot \frac{100}{79} \quad : \quad (48-2)$$

وبالاستناد الى (46 - 2) نكتب العلاقات (47 - 2) و (48 - 2) كما يلي :

$$\Delta V_a = \frac{O_2}{21} \cdot V_{c.g} \quad : \quad (49-2)$$

$$V_a = \frac{N_2}{79} \cdot V_{c.g} \quad : \quad (50-2)$$

وبعد تعويض (49 - 2) و (50 - 2) في (45 - 2) نجد ما يلي :

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}} \quad : \quad (51-2)$$

العلاقة الاخيرة صحيحة في حالة الاحتراق الكامل للوقود ، وفي حالة وجود سوائل الاحتراق الساقص (CO) ، لا يعتبر كل الاوكسجين -

فائضاً ، لأن قسماً منه قد استهلك على اكسدة CO ، الذي يتحول إلى CO_2 ، وبالتالي ستتناقص نتيجة لذلك كمية الاوكسجين - الفائضة ، والمعلوم أنه لمتابعة احراق واحد كيلو مول يتطلب نصف كيلو مول اوكسجين ، وبذلك تصبح كمية الاوكسجين الحر $(\text{O}_2 - \text{CO}/2)$ ، وبذلك تصبح العلاقة (٢ - ٥١) كما يلي :

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{\text{O}_2 - 0.5\text{CO}}{\text{N}_2}} : (52-2)$$

لا تتعين في نواتج الاحتراق كمية الازوت N_2 ، وإنما تستبدل بالشكل التالي :

$$\boxed{\text{N}_2} = 100 - (\text{R}\text{O}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}) \%$$

واخيراً نحصل على ما يلي :

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{\text{O}_2 - 0.5\text{CO}}{100 - (\text{R}\text{O}_2 + \text{O}_2 + \text{CO})}} : (53-2)$$

باعتبار وجود الازوت في الوقود عندئذ يتوجب حساب آزوت الهواء (79%) وبذلك تصبح (٢ - ٥١) كما يلي :

$$\alpha = \frac{21}{21 - \text{O}_2} : (54-2)$$

ي ان معامل فائق الهواء يتمثل بنسبة حجم الاوكسجين 21 %

لداخلي الموقد الى حجم الاوكسجين المستهلك % (21 - 02)

تتميز العلاقة الاوكسيجينية بان معامل فائق الهواء فيها متعلق
بتواجد الاوكسجين الحر في نواتج الاحتراق ، بينما لا ينبع
نركيب الوقود بالعلاقة تقريباً وان ذلك الامر يسمح بتجهيز عملية
الاحتراق ومراقبتها بروبوشونية اكبر .

من العلاقات (51 - 2) و (2 - 53) تستنتج انه لتحديد

معامل فائق الهواء يتوجب معرفة التركيب المئوي لنواتج الاحتراق

ويحدث ذلك عملياً بالتحليل الغازي المؤتمت الاوكسجيني او الفحصي .
عند تجربة مولدات البخار تستخدم اجهزة التحليل الغازات المخبرية
وتعتبر طرق التحليل اللوني (كروماتوغرافي) اكثر عصرية في الوقت
الحاضر وخاصة بالنسبة لاحراق المازوت والغاز .

يمكن التحليل الغازي من تنظيم الاحتراق ، ومن مراقبة كثافة

الغازات فيبعد ان يعين تركيب ونسب مركبات المزيج الغازي تجربياً
يمكننا حساب حجم نواتج الاحتراق .

٢-٢ انتالبي نواتج الاحتراق الغازية

يمكن كتابة انتالبي الحجم النظري لبعض مركبات نواتج

الاحتراق كما يلي :

$$I_{\text{CO}_2}^{\circ} = V_{\text{CO}_2} \cdot (Cv)_{\text{CO}_2}$$

$$I_{\text{N}_2}^{\circ} = V_{\text{N}_2} \cdot (Cv)_{\text{N}_2}$$

$$I_{H_2O}^{\circ} = V_{H_2O}^{\circ} (C_v)_{H_2O}$$

لابخرة الماء :

حيث :

ϑ - درجة حرارة سوائل الاحتراق ; ${}^{\circ}\text{C}$

C - السعة الحرارية لسوائل الاحتراق عند درجة الحرارة

المعطاة . $\text{KJ/m}^3\cdot\text{K}$

ويكون انتالبي الاجمالي للحجم النظري كما يلى :

$$I_g^{\circ} = V_{RO_2}^{\circ} (C_v)_{RO_2} + V_{N_2}^{\circ} (C_v)_{N_2} + \\ + V_{H_2O}^{\circ} (C_v)_{H_2O} ; \text{ KJ/Kg} ; \text{ KJ/m}^3 \quad (55-2)$$

عند احراق الوقود الملتب الغباري ، والدي يخلف الكثير من الرماد يتوجب حساب كمية الحرارة الخارجة مع غازات الاحتراق ، وبذل تأخذ العلاقة الاخيرة الشكل التالي :

$$I_g^{\circ} = V_{RO_2}^{\circ} (C_v)_{RO_2} + V_{N_2}^{\circ} (C_v)_{N_2} + V_{H_2O}^{\circ} (C_v)_{H_2O} + \\ + \frac{A^P}{100} \cdot a_{ro} (C_v)_z ; \text{ KJ/Kg} \quad (56-2)$$

حيث :

a_{ro} - حصة رماد الوقود المحمولة مع غازات الاحتراق ;

C_z - السعة الحرارية للرماد المحمول $\text{KJ/Kg}\cdot\text{K}$.

يتعلق انتالبي الحجم الفعلي للغازات بمعامل فائض الهواء :

$$I_g = I_g^{\circ} + \Delta I_a = I_g^{\circ} + (\alpha - 1) I_a^{\circ} ; \quad (57-2)$$

عما ين انتالبي الهواء النظري يحدد العلاقة :

$$I_a^o = V_a (C_v \vartheta)_a : KJ/kg : KJ/m^3 , (58-2)$$

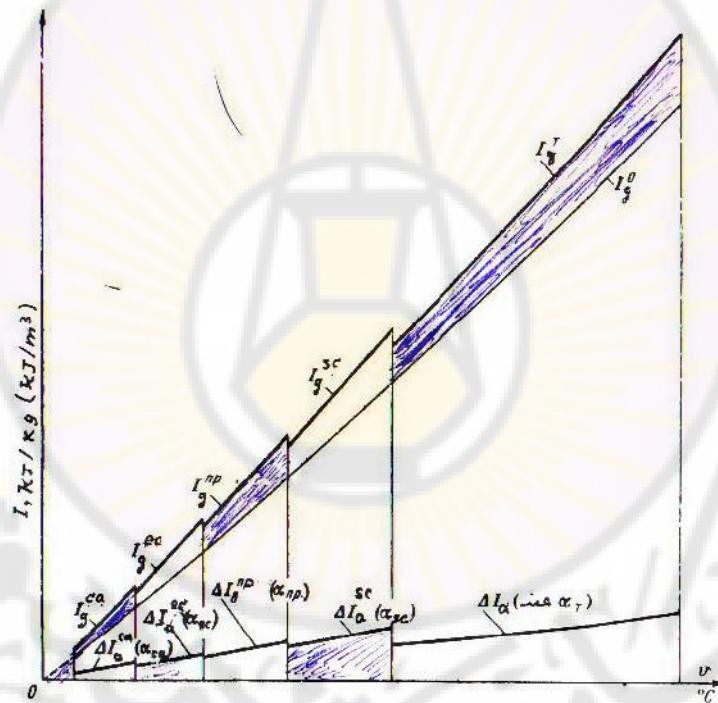
- السعة الحرارية للهواء عند درجة حرارة غازات الاحتراق C_a

$$KJ/m^3 \cdot ^\circ K$$

يعطي التمثيل التحليلي لانتالبي نواتج الاحتراق وانتالبي الهواء

الفائق على شكل جداول او منحنيات بيانية (الشكل ٧-٢) متعلقة

بدرجة الحرارة ϑ ومعامل فائق الهواء α



الشكل (٧-٢) : مخطط ١-٩٦ للغازات .

الفصل الثالث

الميزان الحراري لمولدات البخار وفعالية استهلاك الوقود

١-٣ معادلة الميزان الحراري :

* يقع الميزان الحراري الملة بين الطاقة الحرارية المبذولة في مولد البخار، وبين الطاقة الحرارية التي يكتسبها جسم التشغيل واعتمادا على الميزان الحراري يمكننا معرفة اتجاهات التدفقات الحرارية التي تحدث في المولد ونسبةها كما ويمكن حساب مردود المولد ومصروفات الوقود .

* في موقـد مولد البخار تتـحول الطـاقـة الكـيـمـيـائـية الكـامـتـة فـي الوقـود إلـى طـاقـة حرـارـية تـتـنـقـل مع سـوـاجـ الـاحـترـاق وـتـسـعـمـل لـتـسـخـين المـاء أو لـانتـاجـ البـخارـ المـحـمـمـ .

* من المفهوم ان يخار الماء الناتج في المرجل يتلقى جزءا فقط من الطاقة الحرارية المبذولة ، اما الجزء الآخر فيضيع بتأثير عوامل عديدة منها الطاقة الحرارية الفائعة مع غازات الاحتراق الخارجة الى الوسط الخارجي ، وانخفاض فاعلية الاحتراق ورداة نقل الطاقة الى جسم التشغيل (الماء او البخار) .

تناسب معادلة الميزان الحراري عادة لواحدة كثافة الوقود (و)

او لوحدة حجمه (m^3) في حالة الوقود الغازي ، ونكتب على الشكل التالي :

$$Q_p^P = Q_1 + \sum Q_n : kJ/kg \quad (1-3) *$$

$$Q_p^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (2-3)$$

حيث ان :

$- Q_p^P$ - الطاقة الحرارية المستعملة والمنسوبة لواحدة الكتلة او الحجم للوقود ؛

$\leftarrow Q_1$ - الطاقة الحرارية المستعملة او المفيدة ؛

$\leftarrow \sum Q_n$ - الضياع الطاقي الكلي ويساوي الى مجموع الضياعات ؛

$\leftarrow Q_2$ - الناتجة في التجهيز المرجلي ؛

$\leftarrow Q_3$ - ضياع الطاقة الحرارية المحمولة مع غازات الاحتراق ؛

$\leftarrow Q_4$ - الضياع الناتج عن رداءة الاحتراق الكيميائية ؛

$\leftarrow Q_5$ - الضياع الناتج عن التبادل الحراري بين مولد البحار والوسط الخارجي ؛

$\leftarrow Q_6$ - ضياع الطاقة الحرارية الفيرياطية للرماد .

اذا قسمنا حدود المعادلة السابقة على Q_p^P وخذنا النسبة المئوية يكون لدينا :

$$\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 + \eta_6 = 100\% \quad (5-3)$$

في المعادلة الاخيرة يمثل الحد الاول η_1 مردود المولد

القائم باي ذلك الذي لا يعكس مصروف الطاقة الكهربائية المبذول —

لتدوير مراوح الامتصاص والتهوية ومضخات التغذية .

تشكل الطاقة المستملكة في الميزان الحراري من المصادر التالية : *

$$Q_p = Q_b + Q_a + Q_s + Q_{ph} \quad : (4 - 3)$$

حيث ان :

Q_a - الطاقة الحرارية الداخلة الى مولد البخار

مع هواء الاحتراق وتنسب لواحدة كتلة الوقود ،

تحسب في الحالات عندما يسخن الهواء اوليا خارج

المولد ، اي في المضخات الكهربائية او ما شابه

ذلك .

Q_s - الطاقة الحرارية الداخلة مع بخار الترددید ؟

Q_{ph} - الطاقة الحرارية الفيزيائية لواحد كيلوغرام من

الوقود (او لواحد m^3 من الوقود الغازي) .

لحساب الكمية Q_a نستعمل العلاقة :

$$Q_a = \beta \cdot V_a \cdot C_p' (T_{2a} - T_{1a}) \quad : (5 - 3)$$

C_p' - السعة الحرارية الحجمية الوسطية للهواء المحسوبة

بشرط الضغط ؟

T_{2a} - الحرارة المطلقة للهواء المسخن ؟

T_{1a} - حرارة الهواء البارد المطلقة ؟

β - معامل فائض الهواء المحسوب عند مدخل مسخن الهواء

إلى الكمية النظرية اللازمة ل الاحتراق .

* تحسب الطاقة الحرارية الداخلة مع بخار التردد على الشكل التالي :

$$Q_s = W_f - r \quad (6-3)$$

W_f - استهلاك البخار المستعمل للتبريد ، kg/Kg ،

r - حرارة البخار ، KJ/Kg

* الطاقة الحرارية الفيزيائية للوقود

$$Q_{ph} = C_t (T_t - 273) \quad (7-3)$$

حيث :

C_t - السعة الحرارية الكتالية للوقود ، KJ/Kg ،

T_t - درجة الحرارة المطلقة للوقود ، $^{\circ}\text{K}$

٢-٣ ضياعات الحرارة مع الغازات الخارجة

* وتظهر بسبب عدم تبريد نواتج الاحتراق الغازية حتى درجة

حرارة الهواء الخارجي ، حيث تمتلك الغازات الخارجة درجة حرارة

عالية سببها طرح حرارة الاحتراق في الموقد ويمكن حساب ضياع الحرارة

مع غازات الاحتراق بالمعادلة التالية :

$$Q_o = I_{ex} - I_{ao} \quad (8-3)$$

حيث :

I_{ex} - انتالبي الغازات الخارجية ، KJ/Kg ،

I_{ao} - انتالبي الهواء البارد ، KJ/Kg

يمكن كتابة العلاقة (٨ - ٣) على الشكل التالي :

$$Q_2 = (\sum V \cdot C_{\text{ph}})_{\text{ex}} + (\alpha_{\text{ex}} - 1) I_a^o - I_a g \quad (9-3)$$

في العلاقة الأخيرة

$(\sum V \cdot C_{\text{ph}})_{\text{ex}}$ - اشتالبي الغازات الخارجة من اجل α_{ex} ، KJ/Kg

أو kJ/m^3 ؟

$I_a^o - \alpha_{\text{ex}}$ - انتالبي الهواء الفائق ، α_{ex} ، KJ/m^3 ، KJ/Kg .

* من العلاقة الأخيرة نتبين ان درجة الحرارة T_{ex} هي المؤثر

الاساسي على Q_2 . وبدورها تتعلق درجة الحرارة T_{ex} بكمية

سطوح التبادل الحراري R وبشدة الانتقال الحراري فيها β وتمثل

هذه العلاقة بيانيًا على الشكل (١-٣) .

* يعتبر اختيار درجة الحرارة النهائية لغازات الاحتراق مسألة تقنية

اقتصادية فتحفيض بسيط لدرجة الحرارة T_{ex} في المجال المنخفض ،

يتطلب تزايداً كبيراً لسطح التبادل الحراري R بينما يؤدي طرح

غازات العالية الحرارة إلى زيادة الضياعات الحرارية وإلى استهلاك

غير مبرر للوقود .

* وتحل المسألة المذكورة بتحديد القيمة الدنيا للمصاريف السنوية

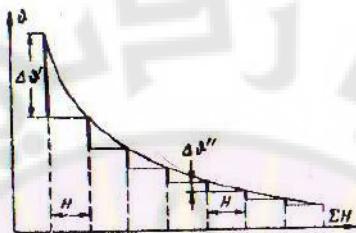
الحسابية حيث يؤدي تخفيض T_{ex} إلى تخفيض مصاريف الوقود

ومصاريف المعدن الذاهب على سطوح التسخين مع ارتفاع درجة

الحرارة T_{ex} تنخفض مصاريف المعدن وتزداد مصاريف الوقود ،

وبالتالي تتوافق درجة الحرارة المثلث T_{ex} مع القيمة الدنيا

للمصاريف السنوية C



الشكل (١-٣) : تغير درجة حرارة الغازات ΔT الخارجة
مع تزايد كمية سطوح التسخين H

(الشكل ٢-٣) التي تعطي بالعلاقة التالية :

$$C = U_a \cdot h K \quad (10-3)$$

تعطي المصاريف السنوية U_a بالعلاقة :

$$U_a = B_a \cdot P_t + a K \quad (11-3)$$

حيث :

K - المصاريف على معدن مولد البخار، بالليترة :

h - المعامل الاعتيادي لفعالية توظيف رأس المال ويساوي

تقريباً ٠,١٥ بالسنة :

B_a - مصرف الوقود السنوي ، Kg

P_t - سعر الوقود، الميرة / كج ،

a - معامل الحسومات (على التلف ، والصيانة الجارية ومصاريف أخرى) بالسنة .

* تلعب رطوبة الوقود دورا هاما في اختيار درجة حرارة خروج الغازات

مع ارتفاع الرطوبة ترتفع القيمة المثلث لدرجة الحرارة

كما يزداد حجم نواتج الاحتراق ، وتزداد ايضا السعة

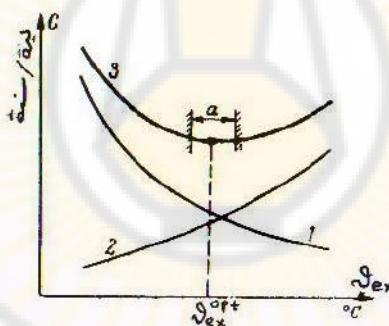
الحرارية الوسطية لغازات الاحتراق ، وتتراوح حرارة الغازات -

الخارجة بالنسبة للتجهيزات الضخمة في المجال (١٦٠ - ٤١٥)

حيث تأخذ الحرارة القيمة الدنيا بالنسبة لأنواع الوقود قليلاً

الرطوبة ويجري رفعها إلى القيمة العظمى في المجال المذكور بالنسبة

لأنواع الوقود عالية الرطوبة .



الشكل (٢-٣) : التحديد التقني الاقتصادي لدرجة

حرارة الغازات المثلث T_{ex}^{opt} . ١ - مصاريف المعدن

٢ - مصاريف الوقود ، ٣ - المصاريف الحسابية السنوية

٤ - منطقة القيم المفضلة لدرجة الحرارة T_{ex}^{opt}

- نقطة ا** يلعب سرب الماء ومعامل فائض الماء دوراً كبيراً في رفع مستوى الضياعات Q_{ex} ، فمع ارتفاع Q_{ex} يزداد حجم نواتج الاحتراق ، وينخفض التقليل الحراري إلى سطوح التسخين ، مما يؤدي في نهاية الامر إلى ارتفاع الضياعات .
- نقطة ب** تعتبر قيمة الضياعات Q_2 أكبر من كافة الضياعات الأخرى ، وتساوي عادة $5 \div 10\%$ ، ويمكن الحصول على القيمة الحسابية لها عندما تكون سطوح التسخين نظيفة وعملياً تتسع سطوح التسخين بالرماد والخبث مما يؤدي إلى ارتفاع Q_2 .

٣-٣ ضياعات الحرارة لرداءة الاحتراق الكيميائية

يمكن لنواتج الاحتراق الغازية أن تحتوي على مواد الاحتراق الناقص للوقود المستخدم مثل CH_4 ; H_2 ; CO ; وغيرها أخرى ، ولا يمكن لهذه الغازات متابعة احتراقها خارج غرفة الموقف بسبب عدم كفاية درجة الحرارة ، وتدعى كمية الحرارة التي يمكن اطلاقها فيما لو تم الاحتراق بضياعات الحرارة لنقص الاحتراق الكيميائي وتعطي بالعلاقة :

$$Q_3 = V_{CO} \cdot Q_{CO} + V_{H_2} \cdot Q_{H_2} + V_{CH_4} \cdot Q_{CH_4} ; \text{KJ/Kg} \quad (12-3)$$

حيث :

V_{CO} ; V_{H_2} ; V_{CH_4} - حجم الغازات القابلة للاحتراق في نواتج

الاحتراق ،

Q_{CO} ; Q_{H_2} ; Q_{CH_4} - حرارة احتراق الغازات على الترتيب

عند احراق الوقود الصلب او السائل يسهل وجود H_2 ، CH_4 وتحدد ضياعات الحرارة الكيميائية بنسبة الغاز CO في نواتج الاحتراق ، وبعد تعويض $Q_{CO} = 12700 \text{ kJ/m}^3$ ، وايجاد الحجم V_{CO} بدلالة النسبة المئوية في نواتج الاحتراق الغازية ، اي $V_{CO}/100 = V_{CO}$ ، وباستفاده من العلاقة (١٢ - ٣) نحصل على العلاقة التالية :

$$Q_3 = 237(C^P + 0.375S^P) \cdot \frac{CO}{12O_2 + CO} \quad (13-8)$$

يسهل استخدام العلاقة الاخيرة في معالجة نتائج التجربة الحراري التقني لمولد البخار .

* عند تصميم مولد البخار تقدر ضياعات رداءة الاحتراق الكيميائية بالاعتماد على المعدلات المعروفة تقريباً . وهي صغيرة نسبياً .

وتنتقل بنوع الوقود المستخدم وباسلوب الاحتراق .

* ويمكن للضياعات الكيميائية ان تزداد بشدة في حالة خرق نظام

الاستهمار واهم العوامل المؤثرة على كمية Q_3 هي :

١- عدم كفاية هواء الاحتراق **ـ ٦ـ** المرج السيء بين الوقود والهواء .

٢- انخفاض فترة بقاء الغازات في الموقف .

* عادة تحدد فترة بقاء الغازات في الموقف بحوالي ١٥ - ٢ ثانية

وخلال هذا الوقت يتوجب على الغازات ان تخترق بشكل كامل .

* ويؤدي انخفاض حجم الموقف وعدم امتلاكه بالذهب وارديان كمية الوقود الواردة اليه الى ارديان نسبة ضياعات الحرارة لاسباب كيميائية .

٤-٣ ضياعات الحرارة لرداة الاحتراق الميكانيكية

* يحدث هذا النوع من الضياعات لأن تنسى من الوقود الوارد إلى الموقد لاسباب مختلفة لا يشارك في كافة مراحل اهراط الاحتراق ،

ويطرح من الموقد (٢) ان يقدم كمية الحرارة التي يمكن ان يطرحها فيما لو احترق (٣) ان هذه الكمية هي ضياعات الحرارة لرداة الاحتراق الميكانيكية .

* ويتصنف هذا النوع من الضياعات بوجود مواد غير محترقة او ناقصة الاحتراق ضمن الطور الصلب لنواتج الاحتراق (الرماد او الخبث)

* ويمكن من الافتراض ان الجزء من الوقود الخارج مع الرماد والذى يقى فترة من الوقت ضمن حوف الموقد قد استطاع طرح المركبات الطيارة الداخلية فيه ، وظل يحتوى على الفحم والرماد فقط .

* في حالة الاحتراق الفرجي يتالف ضياع الحرارة الميكانيكي من الضياع مع الخبث ، والضياع المحمول مع الغازات (٤) ويحدث النوع الاول بسبب غرق جزيئات الوقود ضمن الخبث السائل ، الذي يطرح فيما بعد كخبث متصلب ، (٥) ما الجزء الثاني فيحدث بسبب تطاير جزيئات الوقود الدقيقة مع غازات الاحتراق ويترسب قسم منه على الجزء الحمل على من المبادرات الحرارية ، بينما يحبس القسم المتبقى في جهاز تنقية غازات الاحتراق (اللاقط) .

* تتشير ضياعات الحرارة مع الخبث بعوامل عديدة منها خواص الوقود نسبة الماء فيه . درجة حرارة انصهار الرماد (٦) نسبة المواد الطيارة

(7)

(16)

(17)

طريقة الاحتراق ، عروض الاستثمار ، دقة طحن الوقود .

* اما العوامل المؤثرة بالضياعات المحمولة فيمكن تعدادها كما

يلies : دقة طحن الوقود ، نسبة المواد الطيارة درجة حرارة

الموقد فترة البقاء فيه ، ايروديناميك الموقد ومعامل

فائض الهواء .

عند تصميم مولد البخار يجري وضع نسبة ضياعات الحرارة لبراءة

الاحتراق الميكانيكية بناء على الارشادات التجريبية .

٥- ضياعات الحرارة بسبب التبريد الخارجي

تمتلك عناصر مولد البخار الملامسة للوسط الخارجي (الجدران ، الغطاء العازل ، الحلة ، النواقل ، الانابيب) درجة حرارة أعلى

من درجة الهواء الخارجي مما يؤدي الى التبادل الحراري معه ومع المعدات المحيطة بمولد البخار ، ولهذا السبب يتوجب عزل مختلف

السطوح الخارجية بحيث لا تزيد درجة حرارتها عن 55°C

تتعلق الضياعات Q_5 بالبعد a الخارجي للمولد ، وبالصاعط

الحراري الواقع بين سطوح التبريد والهواء المحيط ، وبمعاملات

النقل الحراري بالحمل وبالاشتعال من سطوح التبريد الى الهواء —

ومعارات .

$$Q_5 = \frac{1}{B} \cdot \sum H_i \left\{ \alpha_c (t_m - t_e) + C [(t_m + 273)^4 - (t_e + 273)^4] \right\}, \text{ KJ/Kg ; KJ/m}^3 \quad (14-3)$$

حيث :

$\sum H_i$ - سطح مولد البخار حسب الابعاد الخارجية ، m^2 ،

t_m - درجة حرارة السطوح الخارجية ، $^{\circ}C$ ،

t_a - درجة حرارة الهواء ، $^{\circ}C$ ،

t_x - درجة حرارة الاشياء التي يجري معها التبادل الحراري، $^{\circ}C$ ،

α - معامل النقل الحراري بالحمل ، $KW/m^2 \cdot degree$ ،

σ - معامل الاشعاع الم Howell للجملة ، $KW/m^2 \cdot ^{\circ}K^4$ ،

لتزيد الضياعات النسبية بسبب التبريد الخارجي عن $0,5\% \div 0,6\%$

$$q_v = \frac{Q_5}{Q_p} \cdot 100\% \quad \text{من معروض الوقود ، ولكنها تأخذ}$$

قيمة مطلقة كبيرة بحيث تساوي تقريباً $5KW$ لكل واحد

ميكارات من الاستطاعة الحاصلة .

يمكن تقدير Q_5 بالعلاقة الآتية ، لذا يمكن تبسيطها لتأخذ

الشكل التالي :

$$B Q_5 = q_v \sum H_i \quad (a, 14-3)$$

حيث تمثل الكمية q_v ضياع الحرارة خلال متر مربع واحد من السطح ، في الحسابات التقريرية

في الحسابات التقريرية تستخدم القيمة الوسطية للضياع الحراري

$$\text{النوعي خلال سطح العازل} = q_v = 200 \div 300 W/m^2$$

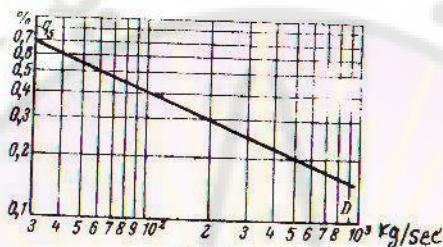
تزيد قيمة ضياعات الحرارة المطلقة $B Q_5$ في مولدات البخار

المخصصة منها بالنسبة للمولدات الصغيرة ، بينما يكون الامر معكوساً

عند مقارنة الضياعات النسبية ، والامر مفهوم ذلك لأن السطح

(2)

الخارجية تزيد بشكل يتناسب مع مربع الابعاد الخطية ، بينما
 يزداد الحجم بشكل متناصف مع مكعب الابعاد الخطية وهذا ما يفسر
سبب انخفاض الضياعات النسبية مع ازدياد الاستطاعة (الشكل ٣-٣) .



الشكل (٣-٣) : تابع ضياعات الحرارة النسبية
بسبب التبريد q_r بالنسبة للاتساعية .

٣- ضياعات الحرارة الفيزيائية مع الخبث

يتشكل هذا النوع من الضياع بسبب الحرارة المرتفعة للخبث او الرماد المطرود من الموقد ، وهذا يعني تضمين الخبث على لحرارة الفيزيائية التي يمكن حسابها على الشكل التالي :

$$Q_s = \alpha_r \frac{A^P}{100} (Ct)_r + q_a$$

حيث :

$$q_a = 240 \div 280 \text{ KJ/Kg}$$

q_a - حصة رماد الوقود الذاهب مع الخبث؛

٢-٣

C_v - السعة الحرارية للبخار عند درجة حرارة طرحه ،

$\cdot \text{KJ/Kg. degré}$

يتوجب حساب ضياع حرارة **البخار الغيرسائلية** ، عندما يطرح بشكله السائل او عندما يكون الوقود كثير الرماد .

٢-٣ مردود مولد البخار ونشأة توليد البخار

$$Q_1 = \frac{1}{B} \left[D(i_{s.c} - i_{ne}) + D_{rt}(i_{rt}^{ex} - i_{rt}^{en}) + D_v(i - i_{ne}) \right] \cdot \text{KJ/Kg} ; \text{KJ/m}^3 , (16-3)$$

حيث :

D : انتاجية مولد البخار .

D_{rt} : تصريف البخار خلال مكرر التحmix ، Kg/sec

D_v : تصريف المياه زائدة الملوحة ، kg/sec

i_{ne} : انتالبي البخار المحمص، و المياه الحلة ، و المياه التغذية

عند درجات الحرارة والضغوط الموافقة ،

i_{rt}^{ex} : انتالبي البخار عند دخوله وخروجه من مكرر التحmix

عند الحرارة والضغط الموافقين ، KJ/kg

B : مصروف الوقود ، Kg/sec

من المعادلات (3-2) و (3-16) يكون لدينا :

$$\begin{aligned}
 D(i_{sc} - i_{ne}) + D_{rt}(i_{rt}^{ex} - i_{rt}^{en}) + D_v(i' - i_{ne}) &= \\
 = B Q_p^r \left(1 - \frac{\sum_{i=6}^6 Q_i}{Q_p^r} \right) &= \\
 = B Q_p^r \gamma_{sg} & \quad (17-3)
 \end{aligned}$$

حيث :

γ_{sg} - مردود مولد البخار القائم

مما يكتب :

$$\gamma_{sg} = \frac{D(i_{sc} - i_{ne}) + D_{rt}(i_{rt}^{ex} - i_{rt}^{en}) + D_v(i' - i_{ne})}{B Q_p^r} \quad (18-5)$$

لمولدات البخار ذات الحريان المباشر حيث $D_v = 5$ نكتب ما يلي

$$\gamma_{sg} = \frac{D(i_{sc} - i_{ne}) + D_{rt}(i_{rt}^{ex} - i_{rt}^{en})}{B Q_p^r} \quad (19-3)$$

يمكن تحديد المردود القائم بطريقة الميزان المعاكس :

$$\sum_{i=6}^6 q_i \% = 100 - \sum_{i=2}^5 q_i \% = \gamma_{sg} \% \quad (20-3)$$

حيث يتوجب في هذه الحالة معرفة كافة الضياعات النسبية q_i

اولا وبعد ذلك يمكن تحديد γ_{sg}

اجهزة الایقاد (المواقد)

تمهيد : تقوم اجهزة الایقاد بوظيفة تنظيم عمليات الاحتراق في مولدات البخار ، وفيها يتم تحويل الطاقة الكيميائية للوقود الى طاقة حرارية تنتقل بدورها الى جسم التشغيل ، وتأخذ المواقد اشكالا مختلفة تتعلق بنوع الوقود المستخدم وخواصه الفيزيائية ، وعلى ذلك توجد تصنيفات عديدة لاجهزة الایقاد ويميز تصنيف المواقد حسب اسلوب الاحتراق بين انواع المواقد السائلة والغرفية والدوامية .

يرتكب الوقود الصلب في الانواع الثلاثة ، بينما يحرق الوقود السائل والغاز في المواقد الغرفية .

* يتطلب من اجهزة الایقاد تحقيق المعاصفات التالية :

١- تأمين الحد الممكن من الاحتراق الكامل مع تخفيف معامل فائض الهواء الى الحد الادنى .

٢- تحقيق الاستقلال الحراري الجيد لسطح التسخين .

٣- الوثوقية في العمل والبساطة في الاستثمار .

٤- وجود نظام للتحكم يحقق التجاوب مع تغيرات الحمولة .

٥- التقليل ما امكن من التربات الخثبية على جدران الموقن
وعلى سطح التسخين .

٤- أحذية ايقاد الوقود الصلب :

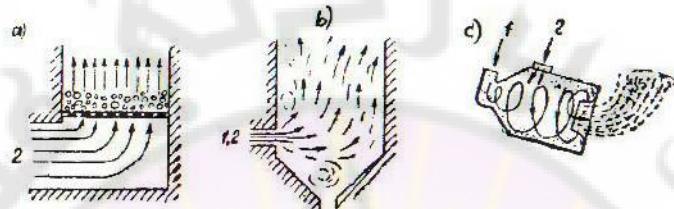
طرق احراق الوقود الصلب :

يمكننا التمييز بين ثلاثة طرق لاحراق الوقود الصلب وهي :
الطريقة الخلقيّة والمشعلية والدوامية (الشكل ٤ - ١) ، 
في حالة الايقاد الطيفي يمل الهواء الى طبقة الوقود من اسفل الغربال في طريقة الاحراق المشعلية بهشم الوقود الصلب اوليا الى قطع صغيرة ، ومن ثم يمر على مطاحن خاصة يحول فيها الى هباب فحمي يمرح مع الهواء ، ثم يضخ المزيج الناتج الى الموقن عبر الحراق ولا يمر وقت طويلا على بقاء المزيج في جوف الموقن ($1,5 \div 2.5$ د)

حتى يحترق ، ويطحن الوقود الى درجات مختلفة من النعومة تتعلق في الاساس بنوع الوقود ، ومن المعروف انه مع هبوط ابعاد جزيئه الوقود يزداد السطح النوعي لتماس الوقود مع المادة المؤكسدة ، وهذا ما يؤدي الى زيادة درجة الحرارة في الشعلة ، وهو يعني في نهاية الامر اشتداد الالتهاب .

تعتمد طريقة الايقاد الدوامية على استعمال الجريان اللولبي للمزيج الوقودي الهوائي حيث تدور جزيئات الوقود حسب مدارات معينة خلال الزمن اللازم لاحتراقها التام ، ويتأثير القوى النابدة تتشكل طبقة كثيفة من جزيئات الوقود التي تسير حسب مسارات لولبية مجاورة لجدار الحراق وتمتزج بشدة مع الهواء

الثاني الذي يضع حسب الاتجاه المماسي لقطر الاسطوانة .



الشكل (٤-١) : طرق احرار الوقود الصلب

a - الطبقة ، b - المشعلية ، c - الدوامية

١- الوقود ، ٢- هواء الاحتراق

آ - الموقد الطبقيه

تشغل عمليتا امداد الوقود الطب وطرح الرماد خيرا هاما من
نظام الایقاد في الموقد الطبقي ، وعلى ذلك تصنف تبعاً لمستوى
المكتنة فيها الى : الموقد اليدوية ، والنصف ممكتنة ، والممكتنة
ويقصد في التعبير اسلوب المكتنة مدى تدخل الالة في عملية امداد
الوقود وطرح الخبث الصلب او السائل .

في الموقد الطبقي النصف ممكتنة يقوم الانسان والآلة معا
بالعمليات المذكورة ، وفي حالة الموقد الممكتنة تقوم الآلة بكافة
عمليات امداد الوقود وطرح الرماد .

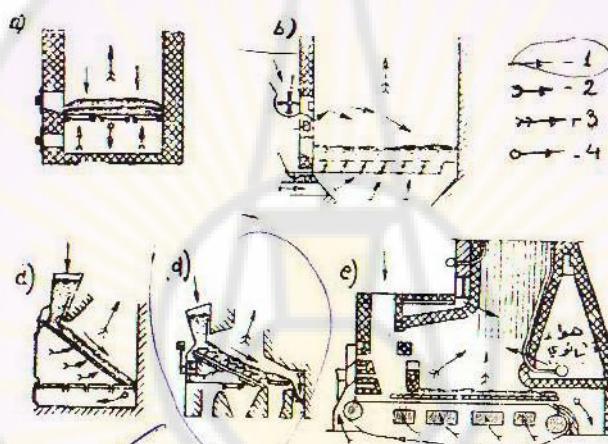
تقسام الموقد الطبقي من حيث نظام احرار الوقود الى الانواع
التالية :

- (١) اندماج
 (٢) اندفاع
 (٣) طاقة انتقالية
 (٤) التقطيع للغاز

١- الموارد الطبقية ذات الغربال الثابت وطبقه الوقود الثابتة
 ايضاً (الشكل ٤ - a ، b) عند قيامه بدوره مع دينار لإنجاز مختصة

٢- الموارد ذات الغربال الثابت مع طبقة الوقود المتحركة (الشكل ٤ - c ، d)

٣- موارد الغربال المترعرك مع طبقة الوقود المتحركة (الشكل ٤ - e) حيث تتم عملية التحريك من خلال كسر



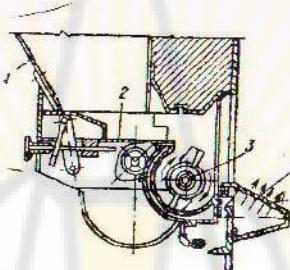
الشكل (٤) : مخطط الموارد الطبقية

- a - الوقود في طبقة الوقود الثابتة ، b - المجبر
 بقادف الوقود مع الغربال المتحرك ، c - ذي الشبكة
 المائلة ، d - ذي الشبكة المائلة المترددة ، e - ذي
 الشبكة المتحركة ،
 ١- الوقود ، ٢- الهواء ، ٣- نواتج الاحتراق الغازية .

أشعر سبب (هواء) في لفحته بذري لها التأثير على ملمسه (هذا يدركه درستي)
لأنه تدرب مع تغير الأحوال

في الموقف (الشكل ٤ - ٢ ، a) يتم إمداد الوقود وطرح الرماد بشكل يدوى ، وبسبب المجهود الكبير المبذول على تلك العمليات تستعمل الموائد اليدوية على نطاق ضيق في مراجل الانتاجية المنخفضة (حتى 0.5 kg/sec) .

على الشكل ٤ - ٢ ، b شري مخطط تمثيلياً للموقف الطيفي النصف ممكثن والمجهز بقاذف الوقود الميكانيكي الهوائي الشكل ٤ - ٣ .



الشكل (٤-٣) : قاذف الوقود الميكانيكي الهوائي.

١- القمع ، ٢- المغذى ، ٣- الدوار القاذف ، ٤- الشبكة البومية .

٤/أ- في الموقف (الشكل (٤ - ٢ ، a) يتم التخلص من الرماد بتدوير الغربال حول محوره يدوياً بالاستعانة بالعتلة المعيبة على الشكل .

* في الموقف (الشكل ٤ - ٢ ، b) يتم إمداد الوقود بتأثير وزن الوقود ، ويستعمل الموقف ذو الغربال المائل بزاوية 45° لاحراق التفایفات الخشبية .

٤- في الموقف (الشكل ٤ - ٢ ، d) تتم عملية العريلة لخلط الفحم مع

مع الرماد الناتج عن الاحتراق عن طريق الحركة الترددية المستمرة للفريال المائل ، وستعمل الموافد الاخيرة في حالة الرفود كثغير الرماد .

على الشكل ٤ - ٢ ، ترى شمودجا للموقد الطبقي الذي يستعمل وقود الطور المقولب ، ويحتوى الموقد على غرفة مخصصة لتحفيز الوقود ، حيث يبرد الهواء الساخن اليها عبر فتحات خاصة متوضعة على الجانب اليسير للموقد .

يتم امداد الوقود الى الفريال ، الذي يتحرك ببطء ، والمتألف من سلسلة على هيئة بساط ثقال يدور ببطء بمساعدة الطنبورين المبنيين على الشكل ، وتنصل السرعة الخطية لحركة السلسلة السطحية الى $m/62$. تبعاً للمراحل التي يمر فيها الوقود على السلسلة يمكننا التمييز بين ثلاثة مناطق وهي اولاً : منطقة تجفيف الوقود وتحرر الغازات ⁽¹⁾ ثانياً : منطقة احرار فحم الكوك الناتج ثالثاً : منطقة اكمال عملية الاحتراق . ويرد الهواء الساخن الى اسفل السلسلة السطحية عبر نوافذ خاصة ، ويمكن تغيير كميات الهواء الساخن الواردة على مختلف مناطق السلسلة السطحية ، وذلك تبعاً لنوع الوقود ولوظيفة كل منطقة من المناطق الثلاث . كما يرد الهواء الثانوي الساخن عبر فتحات خاصة ، وذلك لتحسين شروط الاحتراق ، والتحفيض نسبة الضياعات الناتجة عن ردائتي الاحتراق

الميكانيكية والكميّاتية .

٤٢ بـ مواد احراق الوقود الطلب الغرفية ★★★ **اهم المنشآت** ★★★
تستخدم المواد المذكورة في مولدات البخار ذات الانتاجية

المتوسطة (40 kg/sec) والعلوية أي أكثر من (40 kg/sec)

ويمكّننا حصر مميزاتها فيما يلي :

١- يمكنها استعمال كافة أنواع الوقود الصلبة ومن ضمنها الانواع
الردية :

٢- تمرج جيداً الهواء مع الوقود ، مما يجعل ممكننا تخفيض معامل
فائق الهواء :

٣- يمكنها بسهولة زيادة الاستطاعة
٤- وتحتله نظام تحكم بسيط نسبياً مما يسهل عملية الامتنان في
مولد البخار .

تصنف موقد الغيار الفحصي من حيث وضعية الحرارات إلى موقد
الحرارات السفينة والجاسية والموقد ذات الحرارات المقابلة

والقطربية العمالقة (الشكل ٤ - ٤ ، a ، b ، c ، d)

على الترتيب يستخدم تصميم الموقد المعينة على الشكل ٤ - ٤

a ، b في مولدات البخار ذات الانتاجية حتى 33 kg/sec

ويستحسن استخدام الانواع (الشكل ٤ - ٤ ، d ، c ، b) في التجهيزات

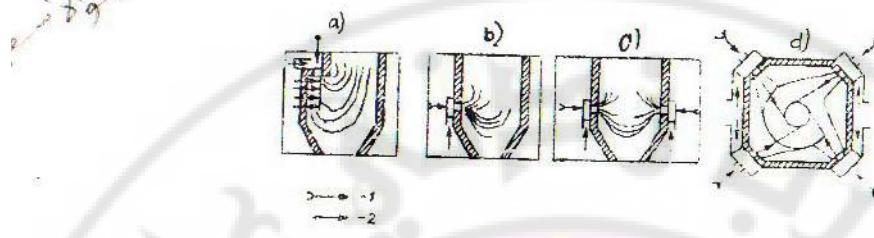
ذات الاستطاعة الاعلى ، وذلك نظراً لازدياد حدة الاحتراق في جزء

الموقد ، وبشكل التصميم الأخير دوامة شديدة في وسط الموقد ،
معاً يؤدي إلى ارتفاع جودة المولد .

في الموقد الغرفية تتوضع الحرارات شاقولياً على عدة طبقات أو
على طبقة واحدة .

لهم اذرا
لهم اذرا
لهم اذرا
لهم اذرا

١٠٧
٢٩
٧٦



الشكل (٤) : تشكيلاً لحرافات في غرفة الموقد

٥ - توضع سقفي ، ٦ - جيبي ، ٧ - متقابل

٨ - قطري مماس ، ٩ - هواء أولي مع غبار الفحم ، ١٠ -

الهواء الثانوي .

نـقسم المـوـاـقـدـ الـتـيـ تـسـعـمـلـ الـوـقـودـ الـمـلـبـ منـ حـيـثـ اـسـلـوبـ طـرـحـها

للـرـمـادـ إـلـىـ مـوـاـقـدـ الـخـبـ الـسـكـلـ وـ الـجـانـدـ ،ـ عـلـىـ الشـكـلـ ٤ـ -ـ ٥ـ

٦ـ،ـ ٧ـ شـرـىـ مـخـطـطـيـنـ اـسـاسـيـنـ لـعـمـلـ كـلـاـ نـوـعـيـ الـمـوـاـقـدـ الـمـذـكـورـةـ .ـ

فـيـ الـمـوـاـقـدـ الـتـيـ يـطـرـحـ فـيـهـ الـخـبـ بـشـكـلـ الـجـامـدـ تـسـعـمـلـ اـنـوـاعـ

الـوـقـودـ الـتـيـ تـطـرـحـ كـمـيـةـ كـبـيرـةـ مـنـ الـرـمـادـ ،ـ مـثـالـ عـلـىـ ذـلـكـ الـفـحـمـ

الـحـجـرـيـ ،ـ فـيـ الـمـوـاـقـدـ الـتـيـ يـطـرـحـ فـيـهـ الـرـمـادـ بـشـكـلـ السـائـلـ

يـسـتـحـسـنـ اـسـتـخـدـمـ اـنـوـاعـ الـوـقـودـ دـاـتـ النـشـاطـ الـكـيـمـيـاـيـيـ الـمـنـخـفـضـ .ـ

* تـقطـعـ جـدـرـانـ الـمـوـاـقـدـ الـغـرـفـيـ فـيـ كـافـةـ جـهـاتـهـاـ بـمـاـ يـسـمـيـ اـنـابـيبـ

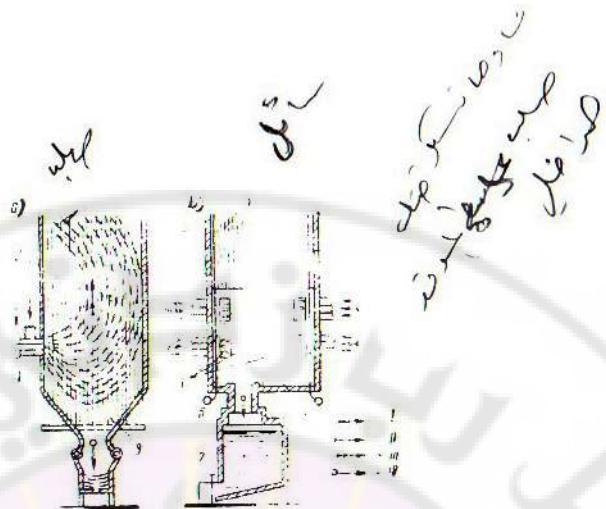
الـمـعـاـكـسـ ،ـ الـتـيـ تـلـعـبـ دورـ سـطـوـنـ الـبـخـرـ ،ـ وـتـتـلـقـيـ الـاخـيـرـ الطـاقـةـ

الـحـرـارـيـ عنـ طـرـيقـ اـشـعـاعـ ،ـ مـاـ يـحـلـهـاـ اـكـثـرـ اـجزـءـ الـمـرجـلـ

اجـهـادـاـ ،ـ كـمـاـ تـنـتـقـلـ الطـاقـةـ الـحـرـارـيـ اـيـضاـ مـلـمـلـ ،ـ لـكـنـ نـسـبةـ

الـاـنـقـالـ الـحـرـارـيـ الـاـخـيـرـ تـنـقـلـ قـلـيلـةـ بـالـمـقـارـنـةـ مـعـ النـوعـ الـاـولـ ،ـ وـذـلـكـ

نظـراـ لـانـخـفـاضـ سـرـعـةـ الغـازـاتـ دـاـخـلـ الـمـوـاـقـدـ .ـ



الشكل (٤٤) : الموقد المشعلية لاحراق غبار الفحم
 ١ - مع طرح الخبث الصلب ، ٢ - مع طرح الخبث
 السائل ، ٣ - الحرار ، ٤ - انباب المعماكس الامامي
 ٥ - انباب المعماكس الجانبي ، ٦ - المصب ، ٧ -
 حوض استقبال الخبث ، ٨ - القمع البارد ،
 ٩ - الوقود ، ١٠ - الهواء ، ١١ - نواتج الاحتراق
 الغازية ، ١٢ - النواتج الصلبة والمنتشرة .

مما سبق نستنتج ان واحدة سطح التسخين لانباب المعماكس تنتج كمية
 من البخار اكثربعمرات من مثيلتها في حالة التقل بالحمل ، وهذا

يعني ان المراجل ذات الموقد المغطاة داخليا بالعواكس تحقق

انتاجية للبخار اعلى من اجل سطوح للتتبادل الحراري اقل نسبتا

وذلك بالمقارنة مع الاساليب الاخرى للتسخين ، وبالنتيجة فان حجم

الموقد نفسها يكون اقل نسبتا . والجدير بالذكر ان رفع درجة

الحرارة داخل الموقد يؤدي الى نفس التأثير الذي تظهره انباب

• المعاكس .

من المفهوم ان درجة حرارة غازات الاحتراق عند المقطع الخارجى للموقد اقل من نظيرتها في غرفة الموقد ، ومنه نستنتج انه عندما تنخفض درجة الحرارة في غرفة الموقد عن درجة تجمد الرماد السائل يتربس الاخير على انباب المعاكس مما يسيء لفعالية عمل الموقد في المستقبل | وجدى بالذكر هنا ان احد عيوب موقد الفحم الغباري هي ان النسبة الكبيرة من الرماد تذهب مع نواتج الاحتراق الغاربة (٨٥ %) ، ان ذلك يؤدي الى التلف السريع للانباب والمبادلات الحرارية المتواجدة على مسار الغازات .

* ان كل ذلك دعا في السنوات الاخيرة الى الانتشار الواسع للموقد التي يطرح فيها الرماد بشكله السائل (الشكل ٤ - ٥ ، ط) ، وتمتاز امثال هذه الموقد بان القسم الاسفل من انباب المعاكس مغطى بمادة مقاومة للنيران ، مما يجعل ممكنا رفع درجة الحرارة في القسم السفلي من غرفة الاحتراق الى مستوى أعلى من درجة انصهار الخبث (اكثر بمائة درجة مئوية) ، ان ذلك يعطي الخبث قابلية جيدة للتسيلان على جوانب غرفة الاحتراق الى حوض استقبال الخبث (على الشكل ٤ - ٥ الوضعية ٧) .

آخر الوقود الصلب على عدة مراحل قبل ادخاله الى الموقد وهي: التكسير الى قطع صغيرة ابعادها بين $10 \div 12 \text{ mm}$ ، ومن ثم التجفيف والتدعيم في مطاحن خاصة حتى الحالة الغبارية (اقل من $0,2 \text{ mm}$) .

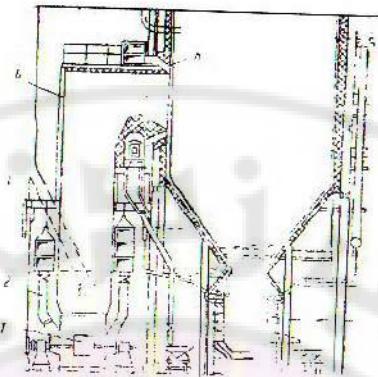


ويمكن تقدير نوعية الوقود الغباري بسعة جزيئاته وتجانسه الحجمي
وتقدر دقة الغبار الفحمي بالكمية المتبقية بعد غربلة المسحوق في
مصف مترافق ببعض ثقوبها بين $0,06 \pm 0,10$ mm

وبصورة عامة مع ازدياد دقة المسحوق تزداد قابلية الامتصاص مع
الهواء ، وبالتالي تنخفض نسبة الفياع الميكانيكي . ومن ناحية أخرى
مع ازدياد دقة الغبار تزداد مصاريف الطحن ، ومنه نستنتج ان هناك
درجة مثل لدقة المسحوق ، ويتم اختبار المطحنة عادة على اساس

الدرجة المثلث لدقة غبار الفحم وتساوية الفحم المستخدم .

* اما مطحنة الوقود الصلب فهي عبارة عن اسطوانة فولاذية ، تدور
حول محورها بسرعة تتراوح بين 25-15 دورات في الدقيقة ، وطولها
 $8 \text{ m} \pm 2,5$ وقطرها $2,4 \text{ m}$ وتسلح الاسطوانة من الداخل
بالواح فولاذية سميكة ، ويعباً ثلاثة حجومها بكرات فولاذية ، وعند
دوران الاسطوانة ترتفع الكرات الى حد معين ، ثم تسقط محظمة قطع
الفحم . ويمكن للمطحنة ان تشكل جزءاً متمماً لمولد البخار ، حيث
يتم فيها تحضير الغبار الفحمي الذي ينتقل بعد ذلك مباشرة الى
المولد لاحتراقه (الشكل ٤ - ٦)



الشكل (٤٤) : تشكيل الموقود مع المطحنة

- ١- المطحنة ، ٢- ورود الهواء للمطحنة ، ٣- مسیل الوقود ، ٤- منجم الفصل ، ٥- فتحة ، ٦- ابواب الهواء الثانوى .

* * احراق الوقود الصلب في الشعلة *

يحتل الحراق مركزا هاما في عملية تصميم وبناء المراقد الغبارية ، ولذا فان الشروط الفنية المطلوبة منه عديدة واهماها:

تأمين المزج الكافي للوقود مع الهواء ، ضمان اشتعال المزيج الوقودي الهوائي في كل لحظة ^(٣) املاء فراغ الموقود بالشعلة ، سهولة التحكم الالي في نظام الاحتراق وذلك ضمن المجال المحدد للانتاجية .

^(٤) الذئب في الوقت الحاضر يستخدم الحراق الدوامي المشعلي لاحراق الوقود

الصلب بشكل واسع ^(٥) هناك ايضا نوع آخر هو الحراق الشقي ، الذي يصل المزيج الوقودي اليه عبر شقوق ضيقة ، ومن ثم ينفاث منها

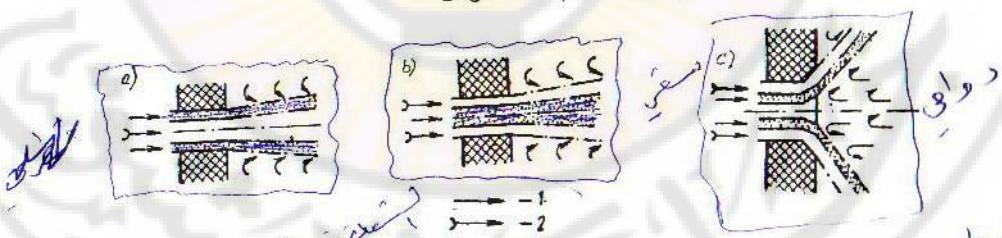
العنبر

في عمق الموقف ، ولذا يستعمل النوع الآخر في التشكيلات الفطرية والمتقابلة لحرارات الموقف الغرافي .

يركب الحراق الدوامي على جوانب الموقف ⁽³⁾ ويتميز عن الحراق الشقي بأن شعلته لا تغور بعيداً في العمق ، على الشكل ٧-٤

تظهر مختلف أساليب إمداد المزيج الوقودي في حرارات المشعلية من المفهوم أن تصميم الحراق ^a أكثر عقلانية من التصميم ^b ذلك لأن الغبار ^c في النوع الأول يمر عبر الأنبوة الخارجية للحراق ومن ثم يحتك مباشرة مع الفرازات الساخنة مما يسرع في عملية الاحتراق .

على الشكل ٧-٤ ، نرى مخططات لإمداد المزيج الوقودي والهواء الشانوي عبر الحراق (الدوامي) ، حيث يخرج المزيج الوقودي من خلال الأنبوة الحلقية الداخلية للحراق ، أما الهواء الشانوي المفتول فيصل عبر الأنبوة الحلقية الخارجية ، هذا وبالإمكان حرف المزيج الوقودي بواسطة جهاز التوجيه ، وذلك لدفعه نحو تيار الهواء الشانوي بهدف التحكم في نظام الاحتراق .



الشكل (٧-٤) : مخططات حرارات الوقود الفحمي الغباري

b، a - حرارات اندفعية . c - حراق دوامي .

١ - هواء شانوى ، ٢ - مزيج وقودي ، ٣ - دوران العوارض

ج - مواد احرار الوقود المصب الدوامية

يتمتع اسلوب الایقاد الدوامي بمميزات خاصة تتلخص في ^{ساعدي ملابس} ^{الدوامة} ^{في} ^{التجفيف} ^{امكانية} ^{المناورة} ^{المرنة} ^{الواسعة} بحملة مولد البخار ، ان هنالك ^٢ ^{امكانية} ^{المناورة} ^{المرنة} ^{الواسعة} بحملة مولد البخار مع التوربين ^١ ^{الامر يحمل اهمية كبيرة في حالة اشتلاف مولد البخار مع التوربين وتشكيلهما مجموعة واحدة .}

تاليف المواد الدوامية من حجرات دوامية (افقية ، مائلة او شاقولية) ومن غرف تبريد ملحقة يجري فيها متابعة نقل الطاقة الحرارية الى غازات الاحتراق .

في المواد ذات الدوامة افقية يدخل التيار الهوائي الناوي بشكل مماسي بالنسبة لنصف قطر الاسطوانة بسرعة كبيرة ($150m/s \div 100m$)

بينما يرد المزير الوقود حسب اتجاه محور الاسطوانة ، فتشكل دوامة بفعل التيار المماسي للهواء الناوي (المشكل ٨٤) ،

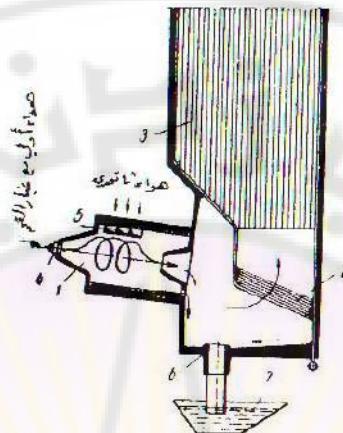
وتتحرك جزيئات الوقود تحت تأثير محصلة القوى النابذة والاندفاعية ، وتحترق الجزيئات الدقيقة منها بسرعة كبيرة وتتحرك بجوار محور

الاسطوانة ^{اما} ^{الجزيئات الثقيلة} الكبيرة الحجم فلا تستطيع الخروج من الدوامة بسبب الفتحة المركزية الضيقة لخروج الغازات ، وتنظر

ملامسة لسطح الاسطوانة الداخلي الى ان يتم احرارها بشكل كامل .

يتقطع السطح الداخلي للاسطوانة بمادة مقاومة للذيران ، وبسبب الطرح الحراري العالى ترتفع درجة الحرارة الى مستوى عال ، مما يسمح بانصهار الخبث وخروجه عبر فتحة خاصة .

دورة اذن حكم
كتابات ملوك وملائكة
كتابات ملوك وملائكة



الشكل (٨-٤) : مخطط الموقد الدوامي.

- ١- غرفة الاحتراق ، ٢- حزمه اصطياد الخبث ، ٣- حجرة التبريد ، ٤- الحراق ، ٥- ابواق الهواء الشانوي ، ٦- مصب الخبث ، ٧- حوض تبريد وطرح الخبث .

٢-٤ اجهزة ايقاد الوقود السائل والعاري

آ- الحراقات المازوتية : يحرق الوقود في طوره البخاري ، ولهذا السبب يعمد الى تغيير قطرات المازوت المتتساقطة في غرفة الوقود الساخن ، مما يزيد من سرعة تبخّرها فيه ، ولتردید المازوت تستخدم اسوان الردادات البخارية والميكانيكية والمركبة .

في الردادات البخارية تستخدم الطاقة الحرارية لتسافورة البخار الخارج من الرداد وفي الانواع الميكانيكية تستخدم الطاقة الحرارية لتسافورة المازوت ، التي تتشكل بمساعدة المصحة الوقودية ، ويتردّد

المازوت نتيجة لتمريره من خلال ثقب صغير بسرعة كبيرة .

عما عن انواع البخارية والميكانيكية للرذاذات هناك انواع مركبة

تستخدم الاساليب الميكانيكية والبخارية بآن واحد .

الرذاذات البخارية : ويتم فيها الحصول على فعالية عالية للترذيد

نتيجة لسرعة انفلات البخار الكبيرة (حتى 1000 m/sec) الذي يجر

وراءه المازوت .

على الشكل ٤ - ٩ تبين احدى التصميمات الشائعة للرذاذات

البخارية ، يمرر البخار تحت ضغط $25 \text{ bar} \pm 5$ من خلال الاسطوانة

الداخلية ، التي تنتهي بالنفاثة المتسعة ، ويرد المازوت حسب

القناة الحلقية ، ويسحب الجريان البخاري المازوت وراءه من القناة

الحلقية ، ثم يمرر المزيج البخاري المازوتي عبر الناشر ليصل الى

الموقد .

تتميز الرذاذات البخارية ببساطتها التصميمية وبروزها الجيد

للمازوت ضمن مجال واسع لغير الانتاجية ($100 \div 15\%$) ،

ويستخدم فيها البخار المشبع او الممتص قليلا ، اما عيوب الرذاذات

البخارية فمتعددة منها : الاستهلاك الكبير للبخار (٣ %) من

الانتاجية مولد البخار) ، (٢) الانتاجية المنخفضة (٣) الازدياد الكبير

لحجم شواطئ الاحتراق (٤) الضجة الكبيرة المرافقة (٥) انخفاض درجة حرارة

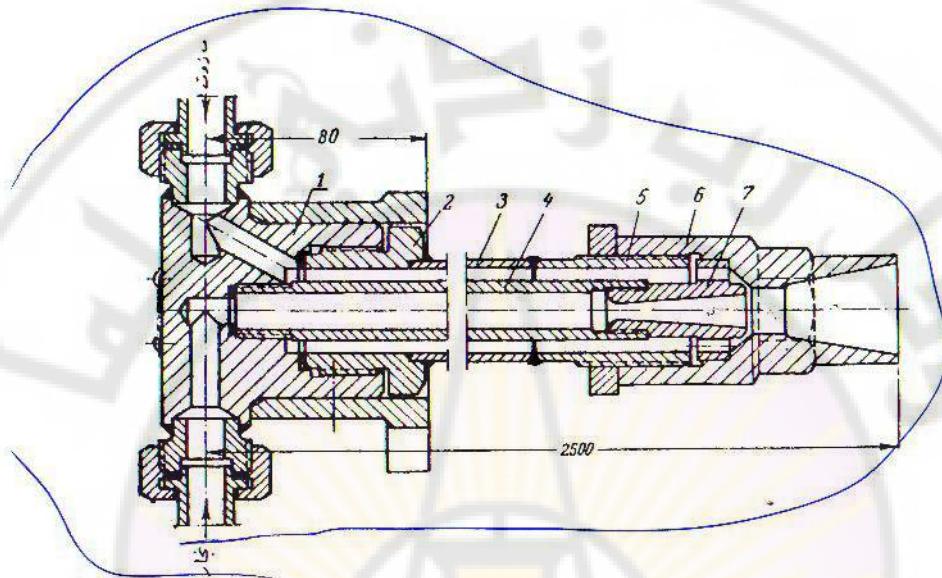
الموقد بسبب الفعل التبريدي للبخار .

تستخدم الرذاذات البخارية في المنشآت ذات القدرة المغيرة ،

او في الحالات التي يتطلب تحسين ترذيد المازوت المازوت على

الرذاذات الميكانيكية وذلك عند عمل مولدات البخار الضخمة على

الكتاب الحملة الجرئية المغيرة



الشكل (٩-٤) : رذاذ مازوتى عامل على البخار.

- ١- الهيكل ، ٢- سداده مستندة ، ٣- الاسويبة الخارجية
٤- المفر المركبى ، ٥- سن خارجي لتشثيت الناشر
٦- الناشر ، ٧- البوق .

الرذاذات الميكانيكية

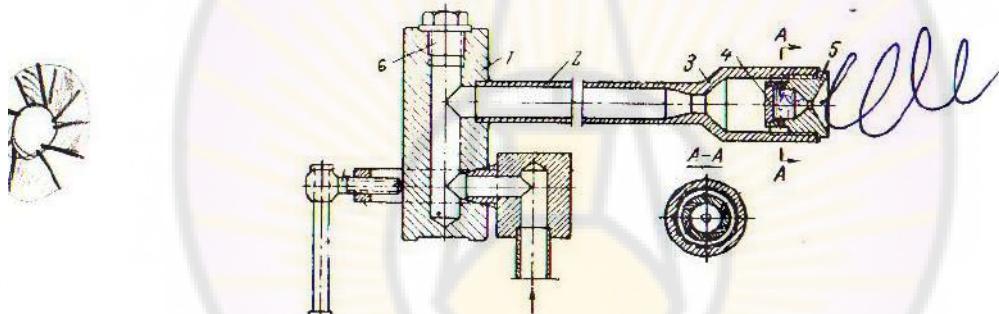
على الشكل ٤ - ١٠ يمثل نموذج لرذاذ ميكانيكي ، يرد المازوت المضغوط حتى 35 bar الى الرأس المردد ، الذي يحتوى على عدة ثقوب مماسية مدوره للحريران ، يخرج المازوت من الثقوب

الى الحجرة المركزية للرأس المرذد ومنها يصل الى الموقد عبر التفب الضيق центральный заслонка приводится в движение с помощью пружины изогнутой .

تهتز الاخيره تحت تأثير الوسط الغاري وتحول الى رداد دقيق .

البعاد .

(٤) تعتبر الرذاذات الميكانيكية اكثراً اقتصادية من مثيلتها البخارية ولا يزيد استهلاكها الطاقي عن ٥٪ من استهلاك المولد . وتحصل انتاجية الرذاذات الميكانيكية الضخمة حتى 3 kg/sec و اكثراً من ذلك . بينما تتراوح انتاجية الانوار البخارية بين ٥,٥ و ٥١٤ kg/sec



الشكل (٤) : الرذاذ الميكانيكي المازوت.

- ١- الهيكل ، ٢- الحامل ، ٣- الرأس ، ٤- الرنديلة
- ٥- الغالة الدوامية ، ٦- سداة .

(٥) تتعلق دقة التردد اي القطر المتوسط للplets m بضغط المازوت

P قبل الرذاذ .

٩١

الونو في هي بحدا لبخاري (١٠٠) مم هو عكس ما في الرذاذ

الرسانة (١٠٠) مم .

٥) تأثير الأبعاد الهندسية على دقة الترددية (التأثير المترافق مع التأثير المترافق)

وتمثل هذه العلاقة كما يلي :

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{0.35} \quad (1-4)$$

- ٥) تؤثر الأبعاد الهندسية للرذاذ على دقة الترددية وفي هذا الصدد يتميز مقطع الثقب المركزي بتأثيره البالغ حيث يؤدي تغير المقطع إلى زيادة دقة التردد وفي نفس الوقت يؤدي ذلك إلى خفض الانتاجية

تنظيم الانتاجية للرذاذات

- يجرى التحكم بالانتاجية عن طريق تغيير ضغط المازوت أمام الرذاذات العاملة ، أو بايقاف قسم منها عن العمل .
- يستخدم اسلوب ايقاف الجري في الرذاذات دون تخفيف ضغط المازوت بشكل واسع ، ولكن يستحسن استخدامه في حالة وجود عدد كبير من الرذاذات ذات الانتاجية الصغيرة والتي يتتحكم بها بدروبا .
- تجهز المنشآت الضخمة بعدد قليل من الرذاذات ذات الانتاجية العالية ، وفي هذه الحالة يؤدي فصل عدد من الرذاذات إلى تشويه الحقل الحراري في الموقد ورداة في توزيع الجريان فيه . ولهذا السبب في مولدات البخار الضخمة يستخدم اسلوب تغيير الضغط قبل الرذاذات ، الا ان هذا الاسلوب لا يمكن من التحكم الواسع بالتصريف وبالفعل تكتب العلاقة بين تصريف المازوت والضغط قبل الرذاذ :

$$\frac{B_2}{B_1} \approx \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad (2-4)$$

حيث :

B_1, P_1 - فقط المازوت وتصريفه في الحالة الاسمية ،

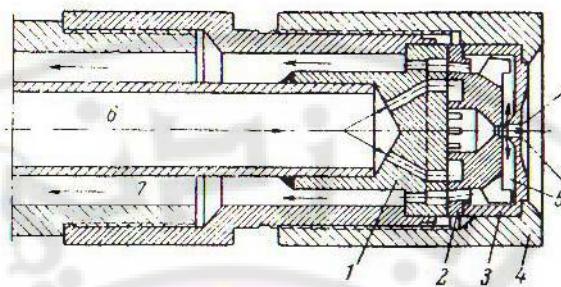
B_2, P_2 - نفس الكميات عند نظام عمل جزئي .

العلاقة (2 - 4) تظهر ان تخفيض الضغط اربع مرات يغير تصريف المازوت مرتين فقط ، ان هذا الامر يعني تضييق حدود التحكم بالتصريف ($100 \% \div 70 \%$) .

لتوسيع حدود التحكم تستخدم رذادات اخرى ذات تصميمات خاصة منها الميكانيكية مع التدوير المازوتى ، والثنائية الاطر ، والبخارية - الميكانيكية ، وذات الرذاذ الدائر .

الشكل 4-11 يبين مقطع الرذاذ الميكانيكي ذي الدوران المازوتى ، يرد المازوت من خلال الاسطوانة المركزية ، ثم يمر على الجبة الموزعة ونطيرتها المرددة ، واخيرا ينفلق من الثقب النهائي ليدخل الى الموقد . ويجري التحكم بانتاجية الرذاذ عن طريق اعادة جزء من المازوت من حجرة التدوير عبر الفراغ الحلقي الى انبوب الاستقبال في المضخة الوقودية ، ويتغير الضغط في المجرى السيلاني الاخير حيث تتغير انتاجية الرذاذ .

عمر



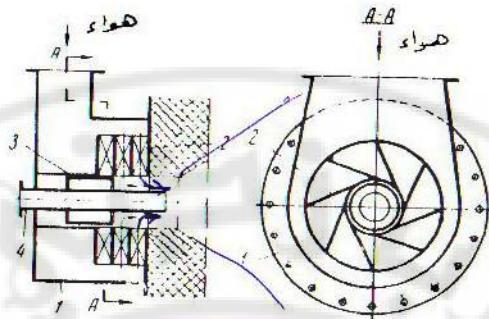
الشكل (١١-٤) : الرذاذ الميكانيكي المعد لتدوير الوقود السائل.

- (١) - رنديلة التوزيع ، (٢) - فالة الترذيز ، (٣) - الغطاء
(٤) - عزقة تثبيت ، (٥) - الحجرة الدوامية ، (٦) - الانبوب
المركزي ، (٧) - المجرى الحلقي لاعادة المازوت .

الموجهات الهوائية *

لزيادة فعالية احراق المازوت المرذاذ يتوجب مزجه بشكل جيد مع الهواء، ويتم ذلك بمساعدة الموجهات الهوائية التي تستقبل الهواء المدفوع من مروحة التهوية ، وتقوم الموجهات الهوائية بتدويره ودفعه بسرعة m/sec 30 ± 25 عبر الفتحات الضيقة .
وفي حالة الاحتاجية الكبيرة تستخدم انواع الموجهات المبينة على الشكل ١٢-٤ .

يحتوي الموجة الهوائي على قنال خاص بالرذاذ المازوتي ٤
ويقوم الجهاز النصلي ٢ بتدوير الهواء ودفعه نحو الممر
الحلقي ليتدفع بعد ذلك الى جوف الموقد .



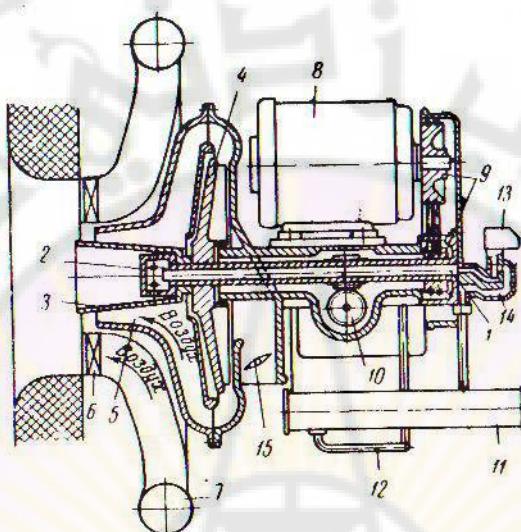
الشكل (١٢-٤) : الموجة الهوائي التصلي .

- الغلاف ، ٢- الجهاز التصلي الموجة ، ٣- الطبلة
- ٤- قنال الرذاذ المازوتى .

الحراق ذي الرذاذ الداير

على الشكل ١٢-٤ يبين المقطع الطولي لجهاز الحراق ذي الرذاذ الداير ، يصل المازوت المسخن حتى 70°C إلى المحور المفرغ الذي يدور بسرعة فائض قدره $547 \pm 0,5$ إلى المحور المفرغ الذي يدور بسرعة كبيرة ، من المحور المفرغ يمر المازوت عبر الموزع إلى الكأس الداير مع المحور فتشكل طبقة على السطح الداخلي للكأس ويندفع المازوت إلى الأمام بسبب الشكل المخروطي ، ثم ينفلت من طرف الكأس حيث يتقطع مع جريان الهواء الآتي من مروحة الحراق ، وبالتالي يتشكل مزيج وقودي متجانس ، ثم يمترز فيما بعد مع تيار الهواء المتبقى والمفتول والآتي عبر القنال الدواري . تومن السرعة الكبيرة للكأس الداير (7000 ± 600 دورة / دقيقة) ترديداً جيداً للمازوت وتصل الانتاجية حتى واحد Kg/Sec وذلك في مجال

واسع لـ تغيير الانتاجية ($20 \div 100\%$)



الشكل (١٣-٤) : الحراق ذي الرذاذ الداير .

- محور مفرغ ، ٢- الموزع ، ٣- كاس مخروطي ، ٤- المروحة ، ٥- الشق الحلقى ، ٦- الجهاز التسطي ،
- ٧- القنال الحلقى ، ٨- محرك كهربائي ، ٩- حزام لنقل الحركة ، ١٠- شاقل لولي للحركة ، ١١- المحسن الكهربائي للمازوت ، ١٢ - انبوب نقل المازوت ، ١٣- صمام مفخاطي
- ١٤- قنال امداد المازوت الى الصمام (١٣) ١٥- الحاجز المنظم .

بــ الح را قات الفار ية

تبعاً لطريقة امداد هواء الاحتراق تقسم الحراقات الغازية

إلى نوعين :

١ـ الحراقات الامتصاصية ، ومتها يستفاد من الفعل الامتصاصي لتيار الغاز في جر هواء الاحتراق اللازم

٢ـ الحراقات القسرية وفيها يرد الهواء إلى الحراق قسراً من مروحة التهوية ، ويجري امدادها بالغاز ذي المغثط المتنخفض مما يرفع من مستوى الأمان في المنشأة ، وتتلخص عيوب الحراق القسري في استهلاك القدرة الكهربائية على تدوير مروحة التهوية ^(١) ، وفي انداد نواظم التحكم الذاتي بنسبة مزج الهواء مع الغاز .

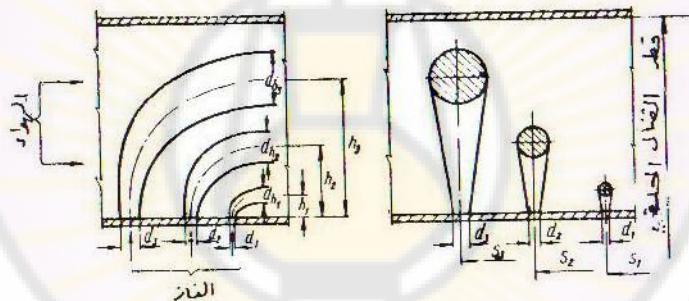
* ففي الحالة الحدية عندما ينقطع امداد الهواء (بسبب تعطل مروحة التهوية) يخمد اللهب في الموقد ، وعند محاولة إعادة التشغيل بدون تهوية أولية يتشكل خطر حدوث انفجار كبير القوة ذي تأثير تخربي ، ولهذا السبب تجهز مولدات البخار ذات الحراقات الغازية القسرية بجمل التحكم الآلي بإمداد الهواء وفقاً لتصريف الغاز وبالشوف الآلي عن امداد الغاز في حالة انخفاض تصرف الهواء دون الحدود المقبولة .

* ولتشكيل المزج الوقودي تستعمل طريقتان ^(١) بتقسيم جريان الغاز الأساسي إلى تيارات مغيرة ^(٢) أو يرفع تهيج الجريان الهوائي الغازي .

تتميز عملية احراق الغاز الطبيعي بال الحاجة إلى مزجه مع الهواء بنسبة حجمية متفاوتة بشكل كبير ، فواحد m^3 من الغاز يحتاج إلى

حوالي m^3 20 من الهواء الساخن ، ان هذا الامر يسمح بامداد الغاز على شكل نوافير صغيرة بسرعة m/sec 100 تصب في جريان الهواء الضخم الذي يسير بسرعة m/sec 40 ± 20 ! ويمكن ادخال نوافير الغاز في الهواء المفتول او الذي يسير بحركة اندفعية ، علما بأن المزج في الحالة الاولى افضل من الحالة الثانية .

* لضمان توزيع الغاز المتجلانس في الحركات عالية الانتاجية ، ذات المقطع الكبير لقنال الهواء ، يتوجب على نوافير الغاز ان تدخل بأعماق مناسبة ضمن قنال الهواء (الشكل ١٤-٤) لتتوزع على طبقتين هوائيتين او ثلاث طبقات .



الشكل (١٤-٤) : مخطط نمو النوافير الغازية عند مختلف اقطار ثقوب انفلات الغاز .

* ويتحدد العمق النسبي لدخول نافورة الغاز في المقطع العرضي لجريان الهواء بالعلاقة التالية :

$$\star \frac{h}{d} = k_s \cdot k_\alpha \cdot \frac{w_g}{w_a} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_a}} \quad : (3-4)$$

حيث :

w_g - سرعة انفلات الغاز من الثقوب :

w_a - سرعة الهواء في مكان الالتقاء مع نوافير الغاز :

ρ_g, ρ_a - كثافات الغاز والهواء :

d - قطر ثقب انفلات الغاز :

k_s - معامل لا واحدي ، يتعلق بالنسبة s/d للنوافير :

المتناظمة في صيغة للتัวهور المفردة :

$$s/d = 20, \quad k_s = 2,2$$

k_α - معامل لا واحدي متعلق بزاوية الاندفاع ، عند 90° :

$$k_\alpha = 1$$

من العلاقة (3-4) نتبين أنه عندما تتماثل سرعات انفلات الغاز

في جريان الهواء ذي التصريف الشابك وذلك من أجل مميزات البوق

المفترضة يكون العمق النسبي لكافة النوافير s/d

متمايلاً :

$$\star \frac{h_1}{d_1} = \frac{h_2}{d_2} = \frac{h_3}{d_3} \quad : (4-4)$$

تشير العلاقة الأخيرة على أن اعمق غور نوافير الغاز تتناسب

طريقاً مع اقطار ثقوب انفلات الغاز ، وتدل التجربة العملية على

نسبة اقطار النوافير d_h الى عمق الغور في الجريان h تظل

ثابتة :

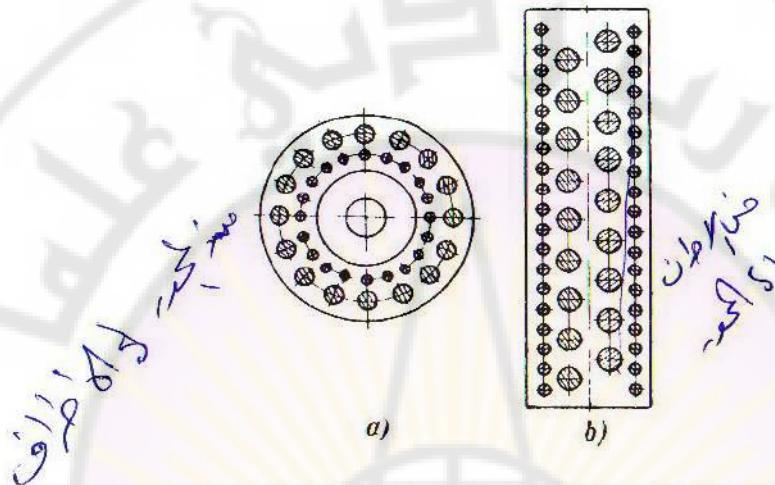
$$\frac{d_h}{h} = 0,75 \quad (5-4)$$

يجري اختيار المسافات بين الثقوب انطلاقا من شروط منع التصاق نوافير الغاز المختلفة ، ويوزع الغاز على شكل نوافير دقيقة في الحراقات الاسطوانية الدوامية او الاندفاعية ، ويجري امداد الغاز من اطراف الاسطوانة باتجاه المحور ، وقد يحدث العكس حيث يمر الغاز متنقلا من محور الاسطوانة باتجاه الاطراف (الشكل ٤-٥،٦،٧)

تصنف الحراقات الغازية تبعا لاسلوب تشكيل المزير الهوائي الغازي الى كينيماتيكية يجري فيها مزج الهواء مع الغاز قبل ورودهما الى الحراق ، وانتشارية تصل فيها تيارات الغاز والهواء الى الموقد بشكل متفرق لتمتزج فيه .

وتتميز مواد احراق الوقود الغازى بأن الشعلة تضيع فيها حسب درجات مختلفة ، ويتعلق هذا الامر بشكل اساسي بشروط تشكيل المزير الوقودي ، فالحراقات الكينيماتيكية ذات المزج الاولى الجيد والمتجانسة لاختلف هباب الفحم وتنتج شعلة غير مضيئة ، بينما تسوء شروط المزج والاحتراق في الحراقات الانتشارية فتختلف هباب الفحم وتزداد اضاءة الشعلة ، في مواد مولدات البخار الفخمة تفضل الحلول الوسطية التي يتم بموجبها مزج الغاز مع الهواء الاولى الاساسي ويتبع المزير المحترق اختلاطه مع الهواء الشانوى في الموقد ويزoom من هذا الاسلوب الاصابة الكافية للشعلة مما يعني زيادة الاستقال الحراري

في الموقد بحد ذاته .



الشكل (١٥-٤) : مخطط نمو النوافير الغازية .

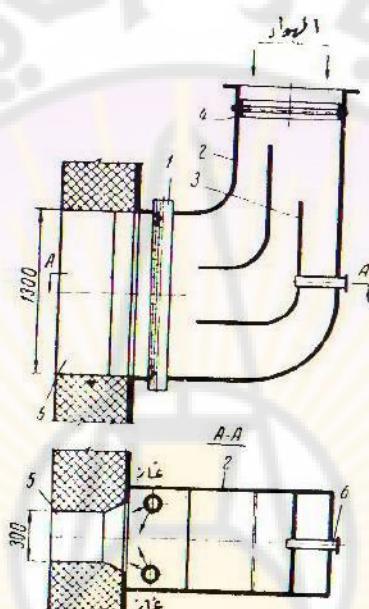
✓ ٩ - في الحرائق الحلقية مع امداد الغاز المركزي ؛

✓ ١٠ - في الحرائق الشفقي مع امداد الغاز الطرفي ،

ج - تصميم الحرارات الغازية

في الشكل ١٦-٤ يبين تصميم الحراري ذي الفتحة الشقية ، يرد الغاز الى الحراري ويوزع عبر انبوبيين يحتويان على عدد كبير من الثقوب (قطر 6 mm) متوضعة على صفين بشكل شطريجي ، ويخرج الغاز من الثقوب بسرعة 40 m/sec ليشكل مع جريان الهواء المزيج الوقودي ، ويدخل الاخير الى الموقد من خلال نافذة مستطيلة الشكل . يرد الهواء عبر قنال يحتوي على انصال موجبة تساعده

في تحانس سرعة الهواء في مقطع القنال قبل الامتزاج مع الغاز .
تشكل الحراقات ذات الفتحات الشقية شعلة قصيرة للهب ضعيفة الاضاءة



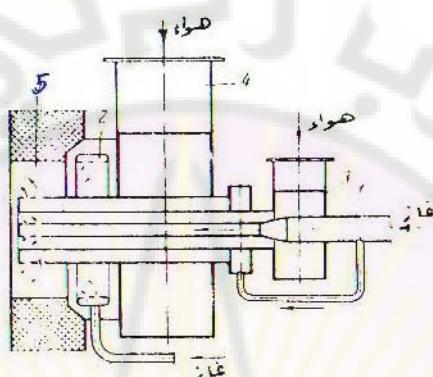
الشكل (١٦٤) : الحراق الشقي ذو الامداد الطرفي للغاز.

١- انبوب توزيع الغاز الشاقولي ، ٢- قنال الهواء

٣- الانصال المرجحة ، ٤- الحاجز المنظم ، ٥- شق مستطيل الشكل ، ٦- قنال لجهار الاشعال .

الشكل ١٦٤ يبين مثالاً لتصميم حراق غازي يمكن فيه التحكم بشدة
اضاءة الشعلة وهو ما يعني التحكم بكميات الحرارة الانشعاعية والحملية
المقدرة عن شعلة الحراق ، يحتوي التصميم المذكور على حراقين

متداخلين مع اميرار مستقل للهواء والغاز لكل منهما .



الشكل (١٧-٤) : الحرّاق الحلقي الثلاثي.

١- حرّاق غازي ثنائي الجريان يمد اليه الغاز مركبـاً ويخرج مع الهواء خارج الحرّاق ، ٢- حرّاق غازي يمد اليه الغاز طرفيـاً ويخرج مع الهواء داخـله ، ٣- قنـال امداد هـواء المـزج الخارجـي ، ٤- قـanal امداد هـواء المـزج الداخـلي ، ٥ - شـافـدة الحرّاق .

د - انظمة عمل واستثمار المواد المازوتية الغازية

يمكن تعداد مؤشرات انظمة عمل المواد على الشكل التالي :

- ١) معامل فاعض الهـواء في المـواد (٢) تمـاثـل امداد الهـواء وـالـوقـود مع الزـمن الى كـافـة الحرـاقـات العـامـلة عـلـى التـواـزي (التـوـافـق) ،
- ٢) الـطـرح الـحرـارـي في فـرـاغ المـوـاد (٤) وـتـؤـثـر قـيم مؤـشـرات الـأـنـظـمـة في

الحسابات الحرارية كما هو وارد في الجدول ١-٤

الجدول ١-٤

ضياعات الحرارة $\eta_3 + \eta_4 \cdot \%$	الطرح الحراري $\frac{BQ_p}{V_f} \text{ Kw/m}^3$	معامل فائق الهواء عند مخرج الموقد α_t	نوع الوقود
٥,٥	٢٩٠	١,١	مازوت
٥	٣٥٠	١,١	غاز

فائق الهواء في الموقد

* لا تتعلق نوعية المزيج الوقودي بشرط مزج الوقود مع الهواء فقط

وأنما تتعلق أيضاً بكمية الهواء المقدم ل الاحتراق في الموقد، وينعكس

هذا الأمر بوضوح على الضياعات الحرارية لاسباب كيميائية (الشكل

١٨-٤) حيث يتضمن التابع التجريبي η_3 على انتعاف حاد

عند $\alpha = \alpha_{cr}$ في المجال $\alpha > \alpha_{cr}$ يختفي نفس الاحتراق الكيميائي

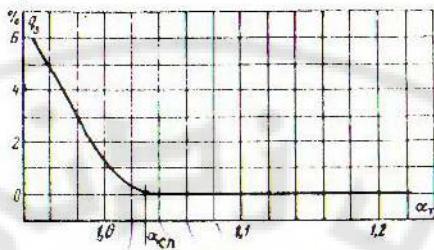
والواضح أنه في الشعلة المموجة يمكن الحصول على الاحتراق الكامل

للغاز عند $\alpha = 1,03$ وفي شروط الاستثمار العملية يتوجب زيادة

معامل فائق الهواء حتى $\alpha = 1,05$ بسبب عدم تحاشى إمداد الهواء

(٣) في المواءات التي تحرق المازوت الذي يحتوى على نسبة عالية من

الكربون يُؤخذ معامل فائق الهواء $\alpha = 1,02$ - $1,03$



الشكل (١٨-٤) : تأثير معامل فائض الهواء α على
ضياعات رداءة الاحتراق الكيميائية .

الارقام الواردة لمعامل فائض الهواء اصغر من المعدلات المعتمدة ،

والسبب في ذلك هو ان تخفيض معامل فائض الهواء يزيد من وشوية ^(١)
عمل مولد البحار ، ويرفع ^(٢) محدوده ^(٣) والامر يحمل اهمية خاصة في حالة
احراق المازوت ذي النسبة العالية من الكبريت Hg

* في شروط الموقف وعند وجود الاوكسجين الحر O_2 تتشكل
غازات SO_2 و SO_3 ، ويتفاعل الاخير مع ابخرة الماء لتتشكل
ابخرة حمض الكبريت وستكاثف الاخيرة على سطوح التسخين التي تكون
درجة حرارتها دون درجة حرارة نقطة السدى ، ونتيجة لذلك تتشكل
شروط مناسبة لتخريب سطح التسخين بالاكسدة .

* وتتعلق كمية غاز SO_3 المتتشكلة وبالتالي شدة الاكسدة الناتجة
عن حمض الكبريت بوجود الاوكسجين الحر في نواتج الاحتراق ، اي

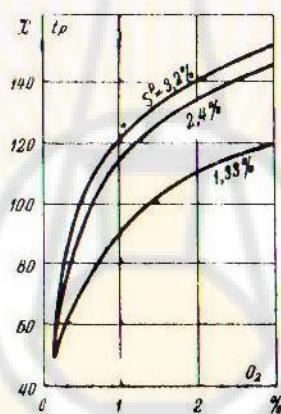
بالمعامل α ، علما بأن ارتفاع α يزيد من كمية
 SO_3 المتتشكلة كما يرفع من درجة السدى (الشكل ١٩-٤) .

ولهذا السبب يمكن تقليل الاكسدة المنخفضة الحرارة بتحفيض معامل
فائض الهواء في الموقف α ويطلب هذا الامر تحقيق الشروط

التالية :

- ١ تنظيم مراقبة مصروف الوقود والهواء على كافة الحرارات لتأمين التجانس في نسب الوقود والهواء .
- ٢ تنظيم مراقبة درجة حرارة سطوح التسخين وبخاصة مسخن الهواء .
- ٣ التوافق في امداد الوقود والهواء خلال الحرارات العاملة على التوازي .

ويصعب تحقيق الشرط الاخير بدقة عالية لعدة اسباب منها عدم امكانية مراقبة التصريف بدقة كافية .



الشكل (١٩-٤) : تأثير فائض الاوكسجين على درجة الندى عند احراق المازوت ذي الاحتواء المتنوع للكبريت .

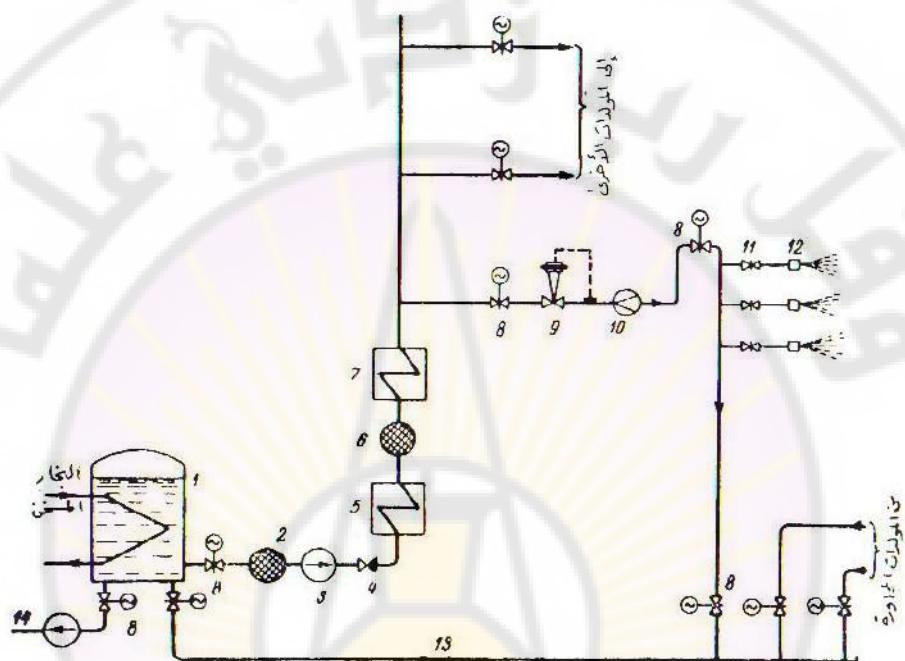
٣-٤ اعداد المازوت والغاز الطبيعي

أ - المازوت: يتطلب اعداد المازوت للاحتراق اجراء عمليات طرح الرطوبة والشوائب الميكانيكية والتسمين لتخفيض لزوجته قبل دفعه للحرارات.

على الشكل ٢٠-٤ يبين مخطط اعداد المازوت من اجل التردد $50^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$. يسخن المازوت في خزان الوقود ١ حتى 50°C وبفضل ذلك تتحسن شروط طرح الماء ويسهل نقل المازوت في الانابيب ويؤدي وصول الماء الى الموقد الى زيادة احتمال اخماد اللهب ، والى رداءة الاحتراق بشكل عام . اما الشوائب الميكانيكية فتؤدي اغلب الاحيان الى سد اقتنية الصفيرة التابعة لاجهزة التردد ولمنع حدوث ذلك توضع المصفاف الشبكية (الفيلترات) ذات الثقوب الكبيرة ٢ ، والمرشحات الدقيقة ٦ ، كما وتتوسط المسخنات ٥، ٧، ٩ ، تكون عدد المصفاف والممسخنات مزدوجا لل الاحتياط . وتصل درجة حرارة التسمين في الخزانات المفتوحة حتى 80°C ويمكن تسخين المازوت للرج في الخزانات المفلقة حتى $100^{\circ}\text{C} \div 110^{\circ}\text{C}$ ، ويجب الا تزيد درجة حرارة التسمين عن درجة الغليان ، وذلك لمنع تشكل الطور الغازي .

يمكن للمازوت ان يسترد في الانبوب الواقع بين الممسخنات والرذاذات ولذلك يعزل الانبوب بشكل مشترك مع انبوب البخار الذي يسخن المازوت على طول المسار الذي يشتراكان فيه ، يحتوي المخطط على الخط العائد ٤٣ الذي يؤمن دوران المازوت المتواصل بما في ذلك

او قات توقف مولد البحار عن العمل ، او توقف بعض اجهزة الترددية
ويؤدي ذلك الى منع تطلب المازوت .



الشكل (٢٠-٤) : مخطط اعداد المازوت .

- حوض الوقود ، - المرشح الاولى ، - المضخة الوقودية
- صمام معاكس ، - المسخنات ، - المرشح الدقيق
- صمام اغلاق ، - منظم التصريف ، - مقاييس التصريف
- صمام ، - رذاذ ، - الخط العائد ، - مضخة التصريف

يتطلب تردد المازوت الحفاظ على ضغطه ولزوجته ضمن حدود معينة

والشكل ١-٢ يبين لزوجة المازوت المفضلة اقتصادياً لترديده ولضمه في المضخات .

* عادة يجري التحكم بلزوجة المازوت بمساعدة درجة الحرارة ،

الآن تشبيث درجة الحرارة قد لا يفي بالغرض المطلوب * ولذلك يمكن استخدام منظم اللزوجة ويجري تشبيث الضغط بمساعدة منظم الضغط الذي يتحكم بالصمامات التحكمية لخطوط ضغط المضخات .

في حالة التردد البخاري يصل المازوت إلى الرذاذات بالسילان الذاتي ، ولا حاجة هنا للمضخات ، ولا لتسخين المازوت قليل الزوجة .

ويصبح التسخين ضرورياً بالنسبة للمازوت على الزوجة ، وذلك انطلاقاً من شروط النقل في الانابيب ، تتميز مخططات اعداد المازوت حسب التردد البخاري ببساطتها ، ذلك انه لا حاجة هنا للمرشحات وذلك لكبر اقنية الرذاذات البحارية .

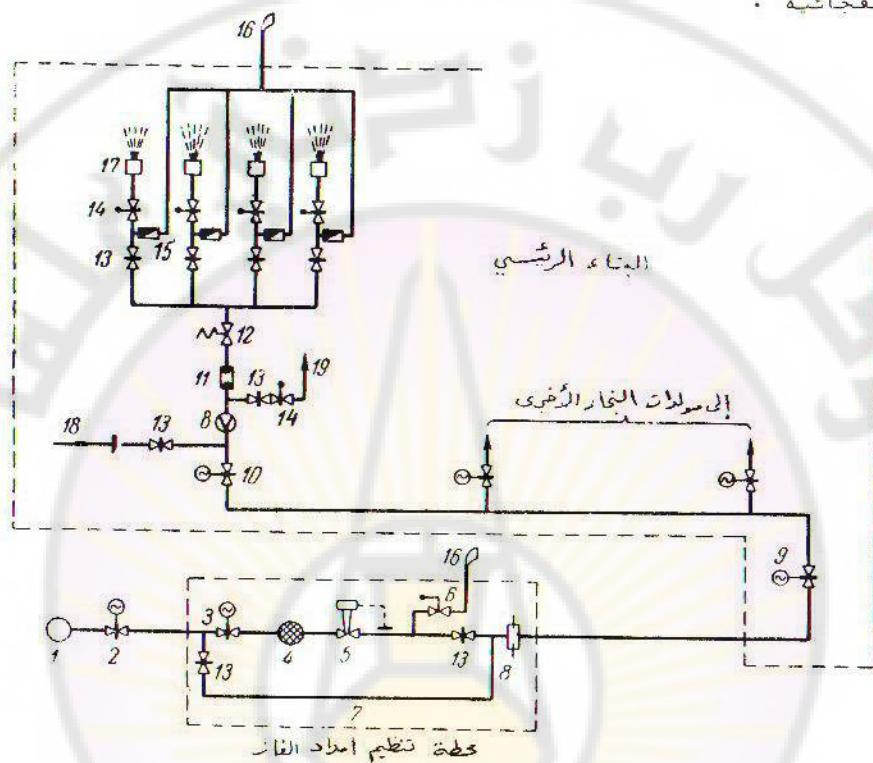
بـ - الغار الطبيعي : يتطلب اعداد الغار الطبيعي الترشيح والحفظ

على الضغط المناسب بالختن ، يكون ضغط الغار في انبوب الامداد حوالي 6 bar ويتغير هذا المضغط ضمن مجال واسع ولتأمين امداد الغار الثابت يجري خنقه وتحفيض ضغطه حتى $1,1 \text{ to } 1,3 \text{ bar}$

في الشكل ٢١-٤ يبين مخطط امداد الغار الطبيعي ، لمنع حدوث الانقطاع في امداد الغار تجهيز المخططات بخط اضافي يفتح بشكل مؤقت في حالات التوقف الفجائي لامداد الغار . ويجري استخدام الخط الاحتياطي في حالات اجراء الصيانة ، يحتوي انبوب الغار على سفرعات عديدة لامداد وتنظيم تغذية التجهيزات بالغار ويقوم الصمام

السرعى الاغلاق ١١ يفصل التجهيز الذى تظهر فيه الاعطال

لتجاهية .



الشكل (٢١-٤) : مخطط امداد الغاز .

١- انبوب امداد الغاز ، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ١٩ ، صمامات ذات محركات كهربائية

٤- ممرشح ، ٥- منظم الضغط ، ٦- صمام امان ، ٧- انبوب

مساعد ، ٨- مقاييس التصريف ، ٩- صمام عديم العطالة ، ١٠- حاجز

منظم التصريف ، ١١- صمام غالق ، ١٤- صمام منظم ، ١٥- صمام

معاينة ، ١٦- الشمعة ، ١٧- الحرافق الغاري ، ١٨- خط الهواء

١٩- خط امداد الغاز الى جهاز الاشعال العاري .

تجري تهوية الاسابيب الفارغة من خلال الاجزاء ذات النهايات المسدودة ، وذلك بمساعدة الانابيب التي تخرج الغاز المحصور الى الامكنة بعيدة عن الناس .
ويجري طرح الهواء من خلال الشموع قبل الايقاد، وخلال التوقفات يطرح الغاز المحصور في الاجزاء المفصولة من المخطط ، تنفذ انابيب الغاز بوجود ميل افقي يحول دون تجمع السائل كما ويسمح هذا الميل بطرح السوائل دوريا من خلال طارحات السائل المتکائف

الفصل الخامس

اسس الحساب الهيدروليكي لمولدات البخار
والنظام الحراري لسطح التسخين

تمهيد : لكي نضمن عمل مولد البخار بثبات يتوجب امتصاص الحرارة من سطح التسخين بشكل موافق لسخونتها ، في الموفر والمحمص يجري تثبيت نظام الجريان بتثبيت سرعة الماء والبخار فيما ضمن حدود معينة ويتم بذلك الحفاظ على استقرار سطح التسخين فيما ، في عناصر توليد البخار يتحقق ذلك بالتبديل المستمر لسطح التسخين بالماء وبالحفاظ على السرعة الكافية للمزيرج البخاري المائي .

١-٥ انظمة الجريان المائي البخاري

تؤثر انظمة جريان المزيرج المائي البخاري في انباب توليد البخار تأثيراً كبيراً على شدة امتصاص الحرارة ، وتنتعلق انظمة الجريان بحد ذاتها بكيفية توضع الانباب في الفراغ (شاقولية او افقية او منحنية) .

الأنابيب الشاقولية : في حالات صغر كل من نسبة البخار وسرعة

المزيج البخاري المائي تكون فقاعات البخار صغيرة (عدة مليمترات)

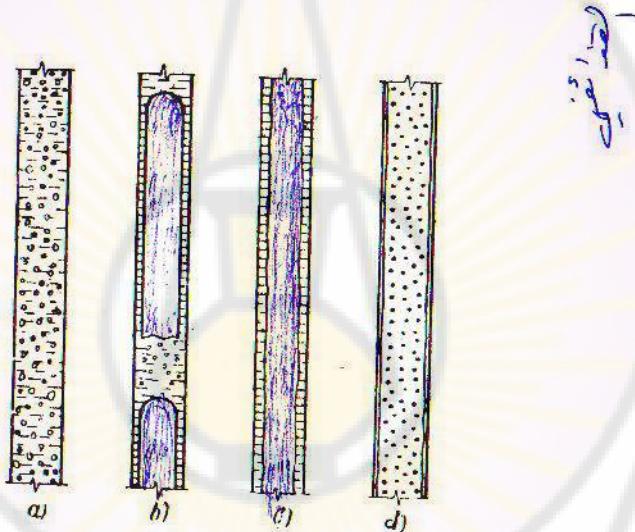
وتنتشر بشكل متساوٍ في مقطع الأنابيب الشاقولي ، ويأخذ الجريان

عندئذ تسمى نظام الجريان الفقاعي (الشكل ١ - a) .

مع ارتفاع حصة البخار في المزيج تتزداد الفقاعات المغيرة في

آخر اكبر حجماً ، تشبه القديفة بشكلها الخارجي ، ولذلك تدعى

هذه الحالة بنظام الجريان القدائي (الشكل ١ - b) .



الشكل (١ - a) : انظمة جريان المزيج البخاري المائي

في الأنابيب الشاقولية .

ج - قدائي ، د - المستحلب ، ب - فقاعي ، هـ - عمودي .

مع متابعة زيادة حصة البخار تض محل السدادات المائية الواقعة بين

الفقاعات القدائفي مشكلة في نهاية الامر عمودا بخاريا متواصلا يتحرك حسب محور الانبوب . ويحاط هذا العمود بشريحة مائية حلقة تقوم بتبريد الجدار الداخلي للانبوب ، تدعى الحالة الاخيرة بنظام الجريان العمودي (الشكل ١ - ٥) .

تحدد سماكة شريحة الماء الحلقة بنسبة تصريف الماء والبخار وعندما تكون سرعة البخار كبيرة والضغط عاليا تختفي شريحة الماء ويمرج بخار الماء بال قطرات المائية ويبقى على جدران الانبوب طبقة رقيقة وهو ما يدعى بنظام الجريان المستحب (الشكل ١ - ٦) عند انخفاض الضغط يعترب نظام الجريان القدائي اكثر استقرارية .

اما النظام العمودي فيلاحظ عند تواجد البخار بنسبة كبيرة فقط ، مع ازدياد الضغط تنخفض قوى الشد السطحي وبالتالي يزداد انقسام الفقاعات ويتحول النظام القدائي ببطء وعند الضغط $30-40 \text{ bar}$ يظهر نظام القدائي الفقاعي ويتوسع مجال النظام الفقاعي ، وعند الضغط 100 bar يختفي النظام القدائي تماما ، وسيطر مكانه النظام الفقاعي ، الذي يتحول بدوره عند ازدياد نسبة البخار فوق 60% الى النظام العمودي، وعند ازدياد السرعة يتحول الاخير الى النظام المستحب .

الاتايبس الافقية : الامر المميز للجريان المائل البخاري في الانبوب الافق هو عدم تجانس توزيع البخار والماء في المقطع . وبسبب صغر كثافة البخار يسير الاخير دائمآ بجانب المولد العلوي للانبوب بينما تسير الكتلة العظمى للماء بجانب المولد السفلي .

و مع هبوط السرعة يحدث انقسام واضح في طبقتي البخار والماء
• (الشكل ٢-٥)

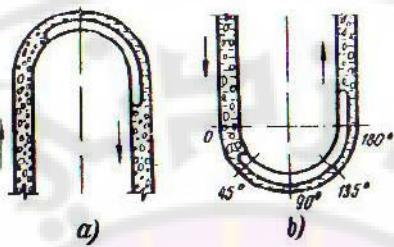


الشكل (٢-٥) : نظام الجريان الطبيعي
في أنبوبة توليد البخار الأفقية .

انحناءات الانابيب : يجري التمييز عادة ما بين الانحناءات العلوية والسفلية، في النوع الاول يغير جسم التشغيل حركته الصاعدة نحو الاعلى الى حركة متوجهة نحو الاسفل (الشكل ٣ - ٥ ، a) ويحدث العكس في الانحناءات السفلية المعاكسة (الشكل ٣ - ٥ ، b)
في اماكن الانحناءات يسوى تبليغ حدران الانبوب ، ويتعلق هذا الامر بتدبر تصريف البخار خلال الانبوب وبالقوى النابذة التي تدفع الماء الى الجهة الاكثر بعده عن مركز الانحناء ، ويمكن ان تؤدي هذه الحالة الى نقص التبريد في الجانب الداخلي من متحني الانبوب .

٢-٥ مؤشرات الجريان المائي البخاري

١- سرعة الدوران ω ، وهي سرعة الماء عند درجة حرارة الاشتعال الموافقة لتصريف جسم التشغيل في الانابيب :



الشكل (٣٥) : ثنيات الانابيب.

a - النوع العلوي ، مالسفي

$$w_o = \frac{G_{mix}}{f \cdot S} , \text{ m/sec} \quad (1-5)$$

حيث :

G_{mix} - التصريف الكتلي للمزيج البحارى المائي خلال جملة

الانابيب ، kg/sec ؟

f - مساحة مقطع جسم التشغيل ، m^2 ؟

ρ - كثافة الماء عند درجة حرارة الاشعة .

٢- سرعة الماء المشتقة w_o : وهي السرعة الممكنة للماء فيما
لوشغل مقطع انبوب توليد البخار بكماله :

$$w'_o = \frac{G_w}{f S} , \text{ m/sec} \quad (2-5)$$

٣- السرعة المنشقة للبخار w'' : وهي السرعة الممكنة للبخار فيما لو شغل مقطع الانبوب بكمته :

$$w'' = \frac{G_s}{f \cdot g''} , \text{ m/sec} \quad (3-5)$$

حيث :

تصريف الماء والبخار خلال جملة الانابيب ، G_s ، G_w

kg/sec

f - كثافة بخار الماء .

٤- سرعة البخار النسبية w_r : في الجريان الصاعد يتحرك

البخار بسرعة اكبر من سرعة الماء w_s و w_w وفي الجريان

الهابط يحدث العكس $w_s < w_w$ ويساوي تفاضلهما

في الحالتين سرعة البخار النسبية .

$$w_r = w_s - w_w , \text{ m/sec} \quad (4-5)$$

٥- سرعة المزيج البخاري المائي w_{mix} : باستخدام العلاقة $(4-5)$ تحصل على ما يلي :

$$w_r = \frac{G_{mix}}{f \cdot g'} = \frac{G_s + G_w}{f \cdot g'} , \text{ m/sec} \quad (5-5)$$

ويمكن تحديد التصارييف الكتالية للماء والبخار كما يلي :

$$G_w = V_w \cdot \rho' = w_0' \cdot \rho' f \cdot \text{kg/sec}$$

$$G_s = V_s \cdot \rho'' = w_0'' \cdot \rho'' f \cdot \text{kg/sec}$$

حيث : V_s ، V_w - التصارييف الحجمية للماء والبخار ،
 w_0 ، G_s ، G_w ، وبعد تعويض في (5-5)

نحصل على ما يلي :

$$w_0 = w_0' + w_0'' \cdot \rho'' / \rho' , \text{m/sec} \quad (6-5)$$

تكتب سرعة المزيج البخاري المائي باعتبارها حاصل قسمة مجموع
 التصارييف الحجمية للمركبات إلى مساحة المقطع الاجمالي :

$$w_{mix} = \frac{V_s + V_w}{\rho}$$

او مع الاخذ بعين الاعتبار G_s ، G_w تكتب :

$$w_{mix} = w_0' + w_0'' \quad , \quad (a , 7-5)$$

وبتعويض w_0' من المعادلة (6-5) في المعادلة (5-7)
 نجد اخيراً :

$$w_{mix} = w_0 + w_0'' \left(1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) , \text{m/sec.} \quad (b , 7-5)$$

٦- السرعة الكتليلية للجريان W_m : لا يتعلق التأثير التبريدي للجريان فقط بالسرعة W وإنما أيضاً بالكتافة ρ ، ويجري عادة تقسيم الفعل التبريدي للجريان بالجاء W_m اى بالسرعة الكتليلية $Kg/m^2 \cdot sec$ وتحس كحاصل قسمة التصريف الكتلي الى مساحة المقطع :

$$W_m = \frac{C}{f} , \quad Kg/m^2 \cdot sec \quad (8-5)$$

٧- حصة البخار الكتليلية في الجريان المائي البخاري (كسر الجفاف)

$$x = \frac{G_s}{G_{mix}}$$

ويمكن حساب الحصة الكتليلية للبخار كما يلي :

$$x = \frac{t - t_w}{t}$$

حيث :

ـ انتالبي الجريان في المقطع المعنى من جملة الانسابب ،

$$KJ/Kg$$

ـ انتالبي الماء على منحنى الاشباع الموافق للضغط في

$$\text{المقطع} , \quad KJ/Kg$$

ـ حرارة البخار عند الضغط ذاته ، KJ/Kg

ـ حصة البخار الحجمية في الجريان : عند تساوي سرعتي البخار

والماء تدعى حصة البخار الحجمية بحصة تصريف البخار الحجمية :

$$\beta = \frac{V_s}{V_s + V_w} , \quad (9-5)$$

في العلاقة الأخيرة بعد تعويض $V_w = w_0' \cdot V$ و $V_s = w_0'' \cdot V$ نجد ما يلي :

$$\beta = \frac{w_0''}{w_{mix}} , \quad (a, 9-5)$$

و مع الأخذ بعين الاعتبار العلاقة (5 - 7 ، ط) يكون لدينا ما يلي :

$$\beta = \frac{w_0''}{w_0 + w_0''(1 - \frac{\mu''}{\mu})} , \quad (b, 9-5)$$

٩- حصة البخار الحقيقية في الجريان φ - وهي نسبة مقطوع الانبوب المشغول بالبخار f_s الموافقة للسرعة الحقيقية للماء والبخار :

$$\varphi = \frac{f_s}{f} , \quad (10-5)$$

١٠- الكثافة التصريفية للمريج البخاري المائي وهي الكثافة الموافقة للسرعات المماثلة للبخار والماء :

$$\rho_{mix} = \frac{G_s}{w_0'' f} + \frac{G_w}{w_0' f} , \text{ kg/m}^3 , \quad (11-5)$$

١١- الكثافة الحقيقة للمزيج البخاري المائي ρ_2 الموافقة للقيم الحقيقة لسرعات البخار والماء، وتتحدد اعتماداً على مايلي : لندرس عنصر الانبوب ذي الارتفاع h والمملوء بالمزيج البخاري المائي ، نرم إلى مساحات اقسام المقطع المشغولة بالماء والبخار s_1 ، s_2 على الترتيب ومجموعهما s وتكون كتل المركبات m_1 ، m_2 ومجموعهما يساوي كتلة العنصر المدروس m_0 ومنه تحصل على علاقة الكثافة الحقيقة :

$$\rho_2 = \frac{\rho' s}{s - m' - m''} , \text{ kg/m}^3 , \quad (12-5)$$

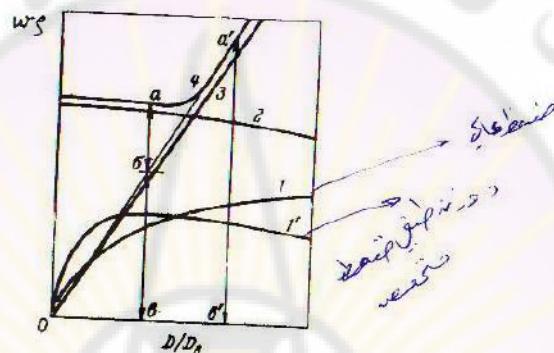
١٢- مضاعف الدوران k : وهو مقلوب كمية النسبة المئوية الكتالية للبخار ويعكس كمية المياه الدائرة إلى كمية البخار الشاتحة خلال نفس الوقت :

$$k = \frac{1}{x} , \quad (13-5)$$

٣- شروط تبريد معدن سطح التسخين

تنظم حركة المزيج البخاري المائي في مختلف انواع مولدات البخار بطرق متنوعة ، وهذا يعني تنوع طرق تبريد الانابيب توليد البخار (الشكل ٤-٤) ، في مولدات البخار ذات الدوران الطبيعي الذي يتشكل نتيجة لتسخين الانابيب ، في شروط فقط

المنخفض وارتفاع الحمولة على مولد البخار ترداد في البدء السرعة الكتالية (في مدخل أنبوب توليد البخار) بشدة وبعد الوصول إلى القيمة الأعظمية تستقر تقريرًا أو تتناقص ببطء ، والسبب في ذلك هو أن توليد البخار المتزايد يؤدي من أجل الحجم التوسيع الكبير للبخار إلى ارتفاع مقاومة الأنابيب (المحتوى ١ الشكل ٤)



الشكل (٤٥) : تأثير حمولة مولد البخار على السرعة
الكتالية .
١- دوران طبيعي (ضغط عالي)
٢- دوران قسري عديد ،
٣- جريان مباشر ، ٤- دوران مركب .

في حالة الضغط العالي (المحتوى ١) تزداد السرعة الكتالية ببطء ويسكن لها في حالة الحمولة المفيرة أن لا تفي بالغرض المطلوب من حيث تبريد أنابيب المعاكس .

تؤدي طريقة إقلاع مولد البخار على الضغط ، العاملة على المؤشرات

فعلم

المنزلقة الى زوال هذا التتفع في حالة الحمولة المغيرة ذلك انه
حتى في هذه الحالة (صفر السرعة الكتالية) تكون السرعة الحجمية
كبيرة بالقدر الكافي

في مولدات البخار ذات الدوران القسري المضاعف ، تحدث حركة
الماء والمرizج البخاري المائي بمساعدة مضخة الدوران القسري ،
ولهذا السبب وبغض النظر عن قيمة الحمولة تكون السرعة الكتالية ثابتة
تقريباً حتى انتها تشاقص مع ازدياد الحمولة (المنحني 2) .

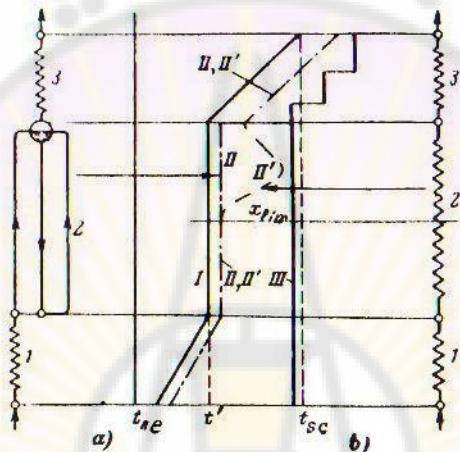
في مولدات البخار المباشرة تناسب السرعة الكتالية مع
الحمولة (المنحني 3) ، وهذا مما يؤدي الى تخريب الانابيب
ولهذا السبب يمنع تحفيض الحمولة الى ما دون 30% من القيمة
الاسمية .

المنحني 4 يوافق مميز مولد البخار الذي تنظم فيه حركة
جسم التشغيل وفقاً لمبدأ الدوران القسري المضاعف في حالة الحمولة
الصغيرة ، والفغط تحت الحرج ، وفي حالة الحمولة الكبيرة يعمل
مولد البخار وفقاً للجريان المباشر .

الشكل ٥-٥ يبين تغيرات درجة حرارة جسم التشغيل حسب مساره في
مولدات البخار ذات الحلة وذات الجريان المباشر ، في كافة
المولدات يمكن لدرجة حرارة مياه التغذية t_{ne} ان ترتفع في
المؤفر حتى درجة الاشعاع كحد اعظمي .

في الانابيب توليد البخار تصرف الحرارة على توليد البخار ، وذلك
من اجل حرارة ثابتة للمرizج t_t ، في المجموع ترتفع درجة
الحرارة الى القيمة المطلوبة t_{se} .

* في نظام العمل المستقر يجري المحافظة على سلامة سطوح التسخين
بواسطة الامتصاص الحراري الفعال والمضمون بواسطة الماء او المرسيج
البخاري المائي او البخار المحمى ، ومن اجل ذلك يتطلب منع رفع
درجة حرارة معدن الانابيب فوق المستوى المقبول .



الشكل (٥-٥) : تغير درجة الحرارة في المسار المائي
للمولد ذي الحلة (٩) ، ومولد الجريان المباشر
(٦) ، ١- الموقر ، ٢- أنابيب البحر ، ٣- المحموم
I - درجة حرارة جسم التشغيل ، II - درجة حرارة
جدران أنابيب المولد ذي الحلة ، III - لمولد الجريان
المباشر ، III - درجة الحرارة المسموح بها .

ويحدد هذا المستوى عند انعدام الترسيبات وتساوي التسخين بين الاسباب والعلامة :

$$t_m = t_{ct} + \beta \frac{\delta_m}{\lambda_m(\beta+1)} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (14-5)$$

حيث

t_{ct} - درجة حرارة جسم التشغيل المدار عبر سطح التسخين، $^{\circ}\text{C}$

β - على الترتيب سماكة (m) ومعامل التوصيل لجدار الانبوب، W/m. degree

α_2 - معامل النقل الحراري من الجدار إلى جسم التشغيل، $\text{W/m}^2. \text{ degree}$

- معامل تشتت الحرارة في مقطع الانبوب وينتج عن عدم تجانس التسخين في محيط الانبوب، يتعلّق معامل التشتت بقطر الانبوب وبالكميات λ_m, δ_m

β - نسبة قطر الخارج إلى قطر الداخل.

من العلاقة (14 - 5) ينبع أنه للحفاظ على درجة الحرارة المقبولة للأنبوب من أجل الشروط المعطاة ($\beta, \delta_m, \lambda_m, \alpha_2$) ، يتوجب تحقيق قيم كبيرة للمعامل β في المحمصات وخاصة في الإجراء النهائي له حيث تعمل الأخيرة على قيم الحرارة الحدية فيجري البخار بسرعات كبيرة وذلك لمنع تجاوز قيم درجة الحرارة المسموح بها ، في المؤشرات $t_{ct} < t_m$ والمعامل β كبير نسبياً وذلك من أجل السرعات الصغيرة للماء وبذلك تكون $t_m < t_{ct}$

في اسمايب توليد البخار العائدة لمولدات البخار ذات الحلة وبفضل مقاومة الدوران تكون الحصة الكتليلية للبخار عند الخروج 20% ودرجة الحرارة t_m أعلى بعده عشرات الدرجات من درجة حرارة الاشباح (الشكل ٥-٥) .

* في مولدات الغريان المعاشر تتراوح النسبة الكتليلية للبخار على طول الانابيب في المجال $1 < \alpha < 0$ في اجزاء اسمايب توليد البخار ، عندما تكون قيم α ضئيلة نسبيا وبسبب الغليان الزائد ، تكون قيم α كبيرة ($150 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{degree}$) وفي هذه الشروط تكون t_m قريبة من t ، وبعد ا من نسبة ما للبخار حدية x_{lim} متعلقة بالضغط وبشدة التسخين نلاحظ قفزة في درجة حرارة الجدار ، وتشير الاخيره الى رداءة الانتقال الحراري ، تنخفض درجة حرارة الانابيب المحسنة بعد وصولها الى قيمتها الاعظمية ، وهو ما يرتبط بازدياد الانتقال الحراري ، في منطقة المحمص يسوء الانتقال الحراري مرة اخرى ويؤدي الى ارتفاع درجة حرارة الانابيب ويظل هذا الامر صحيحا بالنسبة لمختلف انواع المولدات البخارية .

* على الشكل ٥-٥ للمقارنة تبين درجة حرارة المعدن المسموح بها ، وللمثال يقل بان سطوح التسخين متقدمة من معادن مختلفة ، فولاذ قليل التحسين للموفر ولمولدات البخار ولالجزء الاول من المحمص ومع ازدياد درجة حرارة الجدار العاملة تزداد الاضافات المحسنة للفولاذ .

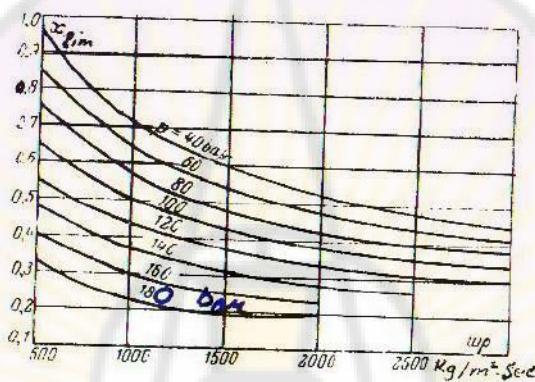
نستنتج مما سبق انه عند تحقيق النسبة الكتالية الحدية لبخار الماء

x_{lim} تتخرج بنية الجريان نتيجة لتباخر الحلقة المائية

الملاصقة لجدار الانبوب، مع ازدياد الفغط تتحفظ قيمة x_{lim} .

الشكل ٦-٥ يبين تابع حصة البخار الكتالية الحدية بالنسبة للتصريف

الكتلي والفغط العامل في الانابيب الشاقولية عند $q_v = 700 \text{ KW/m}^2$



* في الاستثمار يلاحظ انزلاق منطقة الانتقال الحراري الرديء على طول الانبوب المولد للمبخار وذلك بسبب تأثير العوامل الاستثمارية.

في حدود المنطقة المذكورة يتعرض المعدن للانهيار الحراري الناتج عن التغير المستمر لدرجة الحرارة ، ولتصغير مطال اهتزاز الحرارة يحدد الصاغط الحراري بين حدار الانبوب الداخلي والجرمان بالشرط

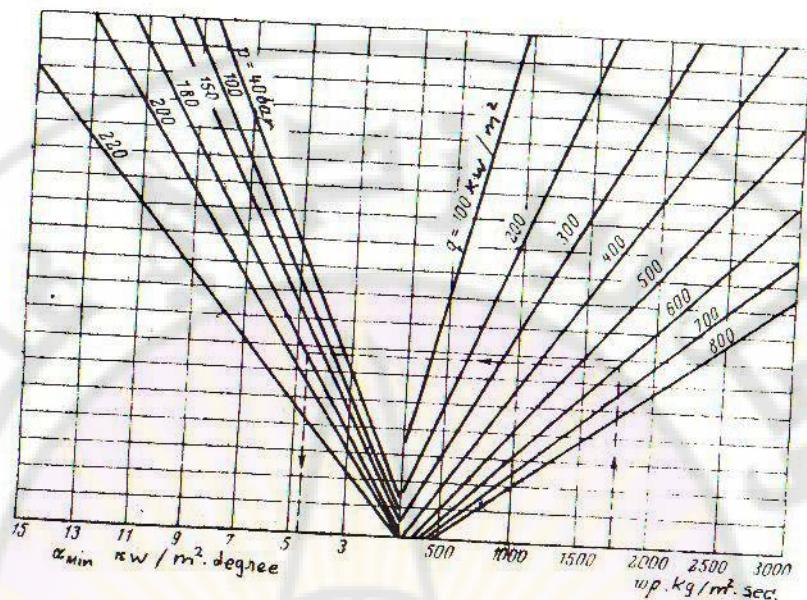
$$5t \leq 80^{\circ}\text{C} \quad \text{ويتحقق ذلك الامر بالسرعة الكافية .}$$

أفقية * لا يختلف التبادل الحراري الداخلي في الانابيب الأفقية ذات القطر الصغير (دون 15 mm) عن مثيله في الانابيب الشاقولية ، ويتحدد بالمخطط المراد على الشكل ٢-٥ .

* في الانابيب الأفقية ذات الاقطان الاكبر من 15 mm لا يكون التبادل الحراري متجلسا حتى ولو كان التسخين متناهرا على محيط المقطع . حيث يكون التبادل على المولد العلوي اسوأ بكثير من المولد السفلي ، ويؤدي ذلك الامر الى زيادة تسخين المولد العلوي بالمقارنة مع السفلي (الشكل ٢-٤) وفي شروط معينة تتطاير قطرات الماء دوريا على جوانب الانابيب الاكثر سخونة مما يؤدي الى تبريدها بشدة وبشكل دوري ؛ وهذا ما يؤدي بدوره الى تخريب انهاكى للمعدن .

* تتبخر قطرات المياه المتطايرة الى جانب الانبوب الرائد السخونة فتشكل طبقة ترسبية ملحية (الشكل ٩-٥ a ، b) . وفي حالة وجود القادي الحر يتآكسد معدن الانبوب (الشكل ٩-٥ c) .

* يؤدي عدم التجانس في توزع الاطوار في مقطع الانبوب المولد للمبخار الى توسيع مجال النظام الحراري الرديء .



الشكل (٢٥) : معامل النقل الحراري من الجدار

إلى الجريان ذي الضغط تحت الحرج في منطقة

التبادل الحراري الرديء ، $\alpha < \alpha_{\text{min}}$

وعند $wP > 180 \text{ bar}$ تمتد رداءة التبادل الحراري حتى مقطع

بداء الغليان ، وعند $wP < 180 \text{ bar}$ تمتد رداءة الانتقال الحراري

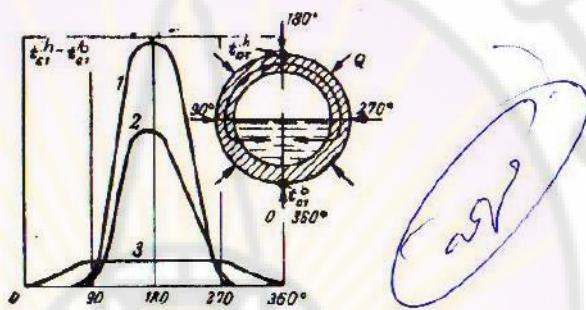
حتى المنطقة الوفرية .

يحسب معامل النقل الحراري للأنابيب الأفقيّة وقليل الميل بالعلاقة :

$$\alpha_h = \alpha_w \frac{0.02}{d}, \text{ W/m}^2 \cdot \text{degree} \quad (15-5)$$

حيث :

- d - القطر الداخلي للأنبوب ، m
α - معامل النقل الحراري للأنبوب الشاقولي .



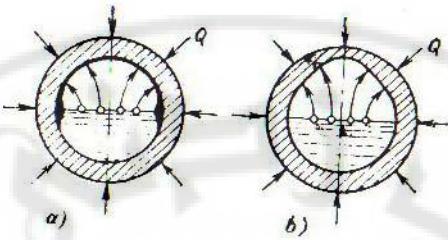
الشكل (٨-٥) : التدرج الحراري لمولدات

انبوبة البحر الأفقي في نظام الجريان الطبيعي

- ١ . $P = 180 \text{ bar}$ - $P = 110 \text{ bar}$ -

- $P = 224 \text{ bar}$ - ٢

يتأثر النظام الحراري للأنابيب الأفقية بالقطر وشدة التسخين
فعزز زيادة شدة التسخين تزداد أهمية تبريد المولد العلوي للأنبوب
ولذلك يتوجب زيادة السرعة الكتالية (الشكل ١٠-٥) .



الشكل (٩-٥) : طابع الترسات (a) والاكسدة القلوية (b) في مقطع أنبوبة البحر الأفقي عند النظام الجريان الطبيعي .

٤-٥ - اسس الحساب الهيدروليكي للجملة المفتوحة

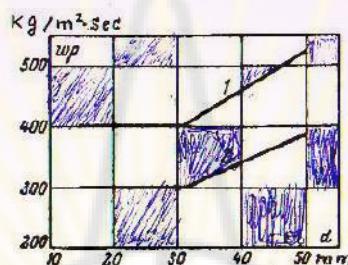
تشكل مولدات البخار ذات الجريان المباشر جملة مفتوحة لانعدام

الدوران فيها .

لضمان وثوقية عمل انباب التسخين المتوازية المختلفة ، يتوجب تأمين عملها ضمن نظام هيدروليكي وحراري وسيط واحد ، كما يتوجب على الحساب الهيدروليكي ان يعكس في طياته عدم التماشى فـي المميزات الهيدروليكية للانباب (الاختلاف في القطر ، الطول ، الخشونة) . تأثير الانباب المجمعة ، تأثير عدم الثبات فـي عمل انبوب توليد البخار (وايضا عدم التماشى في المميزات الحرارية لها) . التسخين المختلف للانباب بسبب اختلاف توضعها بالنسبة لتيار نواتج الاحتراق الغازية ، عدم تماشى اتساخها بالرماد . والمعروف ان عدم التماشى في المميزات الهيدروليكية والحرارية يكون اكبر تأثيرا في المنشآت ذات الاستطاعة الكبيرة ،

حيث يؤدي اردياد سطوح التسخين الى ظهور الاختلافات في انظمة العمل بالنسبة لمختلف العناصر .

ويكون توزيع جسم التشغيل على الانابيب مختلفاً كما ويختلف الانتالبي عند مخرج بعض الانابيب عن القيمة الوسطية الحسابية بشكل ملموس .

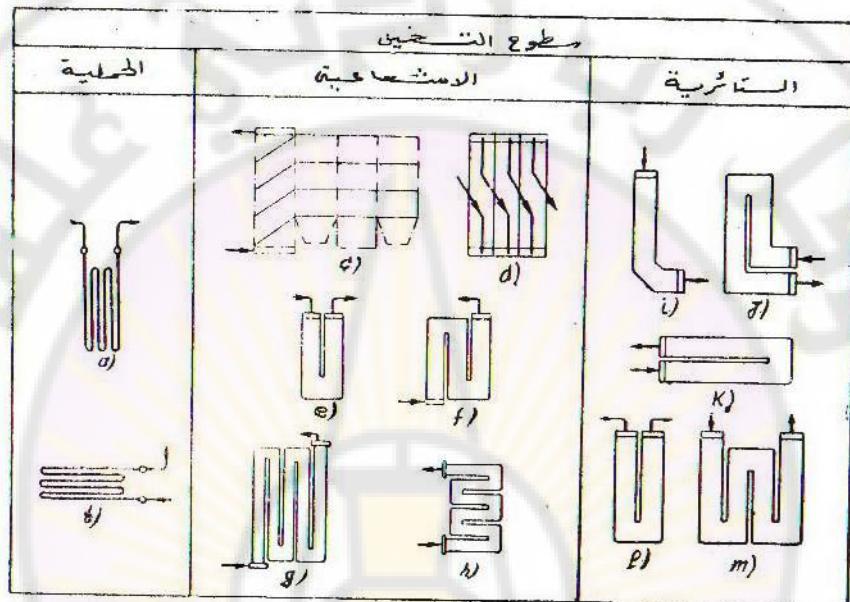


الشكل (10-5) : السرعة الكتالية في انابيب
البخار الافقية .
١- السطح اشعاعي ، ٢- السطح حمل

على الشكل 11-5 تبين اهم مخططات الاطر الميدروليكية لسطح التسخين ذات الحركة القسرية لجسم التشغيل .

ترداد درجة حرارة سطوح التسخين احادية الطور مع اردياد انتالبي جسم التشغيل (البخار في المحمصات والماء في الموفرات) ، بينما تظل درجة حرارة جدران الانابيب المولدة للبخار ثابتة ، وترداد نسبة البخار في المزيج كما يرداد انتالبيه ، ويظل هذا

الامر صحيحاً الى ان تصل نسبة احتواء البخار الى قيمتها الحدية Δ_{lim} حيث تتزايد عندئذ درجة حرارة جدران الانابيب.



الشكل (11-5) : المخططات الهيدروليكيية الأساسية لأطر

سطوح التسخين ذات الحركة القسرية لجسم التشغيل .

a ، b - باكيت حملي شاقولي وافقى ، c - مخطط

اللف الافقى للعواكس ، d - الالوح الشاقولية ، e - لوح

على شكل u ، f - لوح على شكل n ، g - باكيت شاقولي

متعدد المشاور ، h - باكيت اافقى متعدد المشاور ،

i - ساتر على شكل m ، j - ساتر على شكل u مضاعف ،

k - ساتر اافقى ، l - ساتر على شكل u ، m - ساتر

متعدد المشاور .

لحساب الاختلاف الحراري نفترض ان تزايد الانتالبي في ملف ما هو Δi_m ، وان تزايد الانتالبي الوسطي لسطح التسخين هو Δi_{av} ويكون الاختلاف الحراري :

$$R = \frac{\Delta i_{av} - \Delta i_m}{\Delta i_m} \cdot 100 = \left(\frac{\Delta i_{av}}{\Delta i_m} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (16-5)$$

ونكتب ايفسا :

$$\Delta i_m = A \cdot \frac{Q_m}{D_m} ; \Delta i_{av} = A \cdot \frac{Q_{av}}{D_{av}}$$

حيث :

Q_m, Q_{av} - كميات الحرارة المنقولة ،

D_m, D_{av} - تصريف جسم التشغيل في الملف ذي الاختلاف الحراري

والملف الموافق لنظام العمل الوسطي ،

A - معامل التناسب ، وبعد التعويض نجد ما يلى :

$$R = \left(\frac{Q_{av}}{Q_m} \cdot \frac{1}{\frac{D_{av}}{D_m}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (16-6)$$

النسبة $D_{av}/D_m \cdot Q_{av}/Q_m$ تمثلان على الترتيب عدم التجانس

الحراري والهيدروليكي .

من العلاقة الاخيرة نستنتج ان الاختلاف الحراري متعلق بكل من

عدم التجانس الحراري والهيدروليكي ، وتتواء قيمه الاختلاف الحراري

المسموح به انطلاقاً من الشروط التفصيلية لعمل سطح التسخين ، فمثلاً ت العمل **الاجزاء الخروجية** من **انابيب المحمصات** ضمن شروط حرارية حدية ولذا لا تزيد قيمة الاختلاف الحراري المسموح به عن ١٥ % ولذا لا تزيد قيمة الاختلاف الحراري المسموح به عن ١٥ % من قيمة الطاقة الحرارية التي يستقبلها المحمص ، وتعمل المؤفرات ضمن منطقة التسخين المخفف ، ولذا تصل قيمة الاختلاف الحراري المسموح به حتى ١٠٠ %

في **انابيب توليد البخار** تزيد درجة حرارة جدران الانابيب عن درجة حرارة جسم التشغيل بمقدار $35^{\circ} - 20^{\circ}$ ، وبسبب انخفاض درجة حرارة **الفلبان** يمكن السماح **باختلاف حراري كبير** ، الا ان امكانية ظهور **النظام الحراري الرديء** وبخاصة عند **التسخين الشديد** تحول دون ذلك ولذا لا تزيد قيمة الاختلاف الحراري المسموح به عن $20^{\circ} - 40^{\circ}$.

عدم الاستقرار الهيدروليكي في سطوح توليد البخار

يمكن للممرين الهيدروليكي الذي يمثل بالعلاقة $\Delta P = f(w)$ والتبع لاقسام **انابيب البخار المستقيمة** ، ان يكون متعدد القيم حيث تتواافق بعض قيم هبوط **الضغط** مع عدة قيم للتصريف **D** ، وتنتج تعددية القيم هذه عن اختلاف قوانين **المقاومة الهيدروليكيّة** لجزيئي **الأنبوب الوفري والمولد للبخار**. في حالة حركة جسم التشغيل القسرية يحدث عدم الاستقرار الهيدروليكي في **انابيب توليد البخار** التي تحتوي على اجزاء وفرية .

يتالف فرق الضغط الكامل ΔP عند حركة جسم التشغيل في انبوب توليد البخار من مقاومة الاختناك (بما فيه المقاومات المحطة) ΔP_g و مقاومة التوضع الهندسي (ضياع الصاغط على قوى ثقل عمود جسم التشغيل) ΔP_f ، و نكتب عندهما ما يلي :

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_g , \quad P_c , \quad (17-5)$$

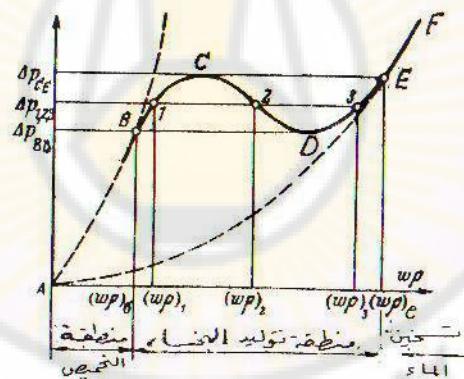
في العلاقة اهملت مقاومة تسارع الجريان ΔP_{acc} بسبب ارتفاع الضغط المطلق ، في مولدات البخار ذات الجريان المباشر والأنابيب الأفقيّة أو الشبه أفقيّة يحمل الحد الثاني في العلاقة بالمقارنة مع الحد الأول ، وفي هذه الحالة $\Delta P_f \approx \Delta P_g$

في مولدات البخار التي يقوم فيها المزيرج البخاري المائي بحركة صعودية أو بحركة صعودية هبوطية مركبة يصبح الحد ΔP_g صغيراً (بعد) بسبب قصر طول الأنابيب ، وتكون المركبة الثانية كبيرة وساحقة في حالة المحمولة الصغيرة . في الحركة الهبوطية تكون ΔP_g سلبية وتخفض فروق الضغط بين المجمعات .

جمل توليد البخار ذات الجريان الأفقي

على الشكل ١٤-٥ تبين لوحة كاملة لتقدير مقاومة انبوب توليد البخار عند تغمر تصريف المياه الغير مفلية ، في الجزء A - بخار ، والجزء B - مزيرج بخاري مائي ، والجزء DE - ماء ، وي العمل الانبوب كمولد للبخار في مجال -

تصريف الماء من w_6 و حتى w_6 ، ويكون مجال المقاومة الموافق من ΔP_{BD} و حتى ΔP_{BE} .
 ونقول بأن الممیز الهیدروليکی غیر مستقر ، ذلك ان قيمة واحدة لفرق الضغوط ΔP بين النقاط المشتركة لدخول وخروج الانابيب ای الحلة والمجمعات ، تتوافق مع ثلاثة قيم مختلفة لتصريف المزبج البخاري المائي (w_1) ، (w_2) ، (w_3) وذلك على الرغم من وجود اختلاف كبير في نسب البخار عند المقطع الخروجي من الملفات (الشكل ١٢٥) ، وبما ان الانظمة الثلاثة غير ثابتة ، فان التصريف خلال الانبوب يمكن ان يتغير بشكل دوري ومع وجود اختلاف كبير في حصة البخار ، وباعتبار الفارق الكبير في الحجم النوعية للبخار والماء عاماً اساسياً ، يوش في ثبات الممیز .



الشكل (١٢٥) : الممیز الهیدروليکی لانبوب

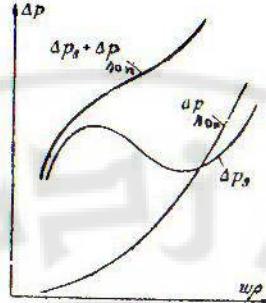
البخار الافقی عند حركة الجريان القسرية .

ولذلك مع ارتفاع الضغط يصبح الممیز اکثر شباتاً ، ويزداد شات الممیز الهیدروليکي مع ازدياد انتالبي الماء عند دخوله الى الانبوب الحزوني .

* لضمان عمل انباب توليد البخار ذات الحركة القسرية بشكل سليم يتوجب الحصول على ممیز هیدروليکي افرادي القيم ، اي ذاك الممیز الذي تتوافق كل قيمة لفارق الضغط ΔP مع قيمة واحدة معينة لتصريف الماء ، ويتحقق هذا الامر برفع مقاومة القلم الوفري من الانبوب ، حيث تتناسب المقلومة مع مربع التصريف تقريباً ، ويزداد المقاومة بوضع السدادات الاصناعية عند المدخل الى كافة انباب توليد البخار او بتغيير قطر الانباب الوفري والحصول بالتالي على انباب تدرجية .

عند جمع مقاومة السدادة مع مقاومة الانبوب يتشكل ممیز اجمالي شات (الشكل ١٣٥) الا ان افرادية قيم الممیز غير كافية لتأمين الاستقرار ، ذلك ان اهتزازات صغيرة لفرق الضغط قد تؤدي الى تغير كبير في التصريف ، ولهذا السبب يوضع شرط اضافي ، مفاده ارتباط التزايد النسبي لتصريف جسم التشغيل مع التزايد النسبي لفارق الضغط بالمتراجحة التالية :

$$\frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{\Delta P_1} : \frac{(w_g)_2 - (w_g)_1}{(w_g)_1} \geq \frac{1}{3}, \quad (18-5)$$



الشكل (١٣-٥) : ازالة عدم الاستقرار الهيدروليكي في أنبوب البخار الأفقي بوضع الحلقة الاصطناعية .

الواح توليد البخار الصاعدة والصاعدة الهابطة

في الألواح الشاقولية ذات الجريان الصاعد او الهابط او ذات المشاويير القليلة [N , U , N] (الشكل ١٤-٥)

والتي يعتبر فيها الارتفاع قريبا من الطول الاجمالي للأنابيب يتحدد الممرين الهيدروليكي بالضغط وبكمية نقص التسخين حتى الغليان عند المقطع الداخلي، في الألواح الشاقولية تلعب مقاومة التوسيع الهندسي ΔP دورا أساسيا ، كما ان التأثير المتبادل للأنابيب المجمعة الدخولية والخروجية ينعكس بشكل محسوس على الممرين .

في الواح توليد البخار ذات المشوار الواحد الصاعد تكون مقاومة التوسيع الهندسي والمقاومة الهيدروليكيه موجستين ولذا يكون فارق الضغط بين الأنابيب التجميع الدخولية والخروجية مساويا :

$$\Delta P = \Delta P_g + \Delta P_f \quad , \quad (19-5)$$

في حالة الحركة الهبوطية يكون الضاغط الهندسي موجباً والمقاومة الهيدروليكيّة سالبة :

$$\Delta P = \Delta P_g - \Delta P_f \quad , \quad (20-5)$$

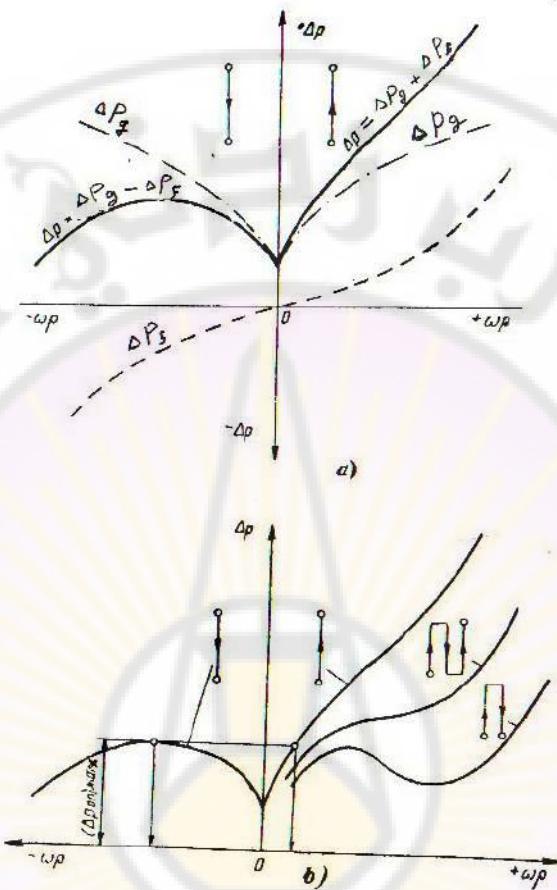
للاسياب المبینة تتوضع المميزات الهيدروليکية للالواح احادية المشاويں في الربعين الايمن للوح ذي الحركة الصعودية واليسير للوح ذي الحركة الهبوطية لجسم التشغيل (الشكل ١٤-٥ a) من المتخنی تستنتج انه عند قيم التصريف الصغيرة يكون الجريان غير مستقر ، ذلك ان قيمة واحدة لفرق الضغط بين انباب التجمیع تتوافق مع ثلاثة قیم للتصريف ، ويمكن تحقيق الاستقرار في الجريان عن طريق رفع التصريف الى ما فوق القيمة العظمى لفرع المربع اليسير (الشكل ١٤-٥ b) :

$$\Delta P = P_{bas} - P_{sup} > (\Delta P_{on})_{max} \quad (21-5)$$

وللحركة الهبوطية يفترض تحقيق الشرط التالي :

$$\Delta P = P_{bas} - P_{sup} < 0 \quad , \quad (22-5)$$

في حالة الجريان الصاعد يتحسن المعیز الهیدروليکی بتأثير ΔP_g



الشكل (١٤-٥) : المميزات الهيدروليكيّة لانتابيب توليد
البخار ذات الجريان القسري .
أ - انبوب شاقولي
باتجاه واحد ، ب - انبوب شاقولي باتجاه واحد وعلى

شكل Π و N

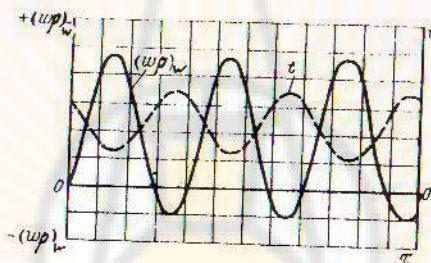
J. Lee D.P.M.
D.P.M.

والعكس هو الصحيح في حالة الحركة الهبوطية ، وينعكس تأثير ΔP_g على الواح التوليد ذات الشكل \square و \triangle ، حيث ان الممبير الهيدروليكي للنوع الاخير افضل من النوع \square لان القسم الخروجي منه يتضمن نسبة كبيرة من البخار ، وبالتالي تكون كثافته اقل في القسم الذي تكون فيه $\Delta P_g = 70$ ، في لوح التوليد ذي الشكل N والذي يتوضع مجموعه الدخولي في الاسفل والمجموع الخروجي في الاعلى يكون تأثير ΔP_g اكثر ايجابية على الممبير الهيدروليكي لان هذا النوع يحتوي على مشوارين صعوديين .

نبض الجريان

يتعرض مولد البحار في الاستثمار دائمًا للمؤشرات عديدة ، تؤدي إلى تخريب النظام المستقر ، وإلى تغيير تصريف جسم التشغيل في انسابيب توليد البحار بشكل نبضي ، والمؤشرات هي : تغير التسخين (١) تغير ضغط وتصريف وحرارة مياه التغذية وتبعاً لنوع المؤشر وللمؤشرات التصميمية لسطح توليد البحار يمكن للتصريف المتردد أن يستخدم ويستوقف أو يتحول إلى مستوى الاهتزازات وهذا يعني أنه خلال بعض الانسابيب (الشكل ١٥٥) يتزايد تصريف الماء (٢) حتى القيمة العظمى ، ثم يتناقص ماراً من خلال قيمة وسطية ، ليصل إلى القيمة الدنيا (بعض الأحيان سالبة) ، بعد ذلك يتزايد من جديد ثم يتكرر هذا الإجراء من جديد ، وحيثما يكون التصريف في الانسابيب الأخرى يتضايقاً أيضًا .

الا انه يحدث مع فارق في الطور . ويمكن ان يحدث ذلك من اجل تصريف اجمالي ثابت ومن اجل فارق ثابت في الضغط ويصل دور التبضات في مولدات البخار المباشرة الى عشرات الثوانى وحتى الدقائق ، وتشكل الاهتزازات ذات المطال الكبير خطرا جسما على انباب توليد البخار حيث يؤدي التصريف الصغير لجسم التشغيل المترافق مع التبادل الحراري **الرديء** الى اهتزاز درجة حرارة جدران الانابيب **(المنحني t)** وبذا يتعرض المعدن الى اجهادات ذات طابع انهكى.



الشكل (١٥٥) : تردد التصريف ودرجة حرارة انبوب توليد البخار في حالة الجريان القسري .

يمكن التخلص من تأثير النبض الجريانى عن طريق وضع حلقات **مصنوعية** لجريان الماء الوارد الى انباب التوليد ، وتزييد الحلقات **الاضعافية** **المقاومة الاجمالية**، وينتتج ان الموفر يعمل تحت ضغط اكثر علوا ، ولا يستحسن استخدام الحلقات ذات المقاومة الكبيرة ، لأن ذلك يؤشر على مصروف الطاقة وتحدد نسبة الاضعاف بالعلاقة **التجريبية**

الستالية :

$$\frac{\Delta P_{ron} + \Delta P_{ec}}{\Delta P_r} = f(w_s, P), \quad (23-5)$$

حيث :

ΔP_{ron} ، ΔP_{ec} - مقاومات الاجزاء الوفيرية والبخارية ،
 P_c - مقاومة الحلقة الاضعافية ، ΔP_{ron} .

تأثير المجمعات على توزيع الماء والبخار بين الانابيب

① يميز بين المجمعات الدخولية (الشكل 16-5) الموزعة 1

التي يصل اليها جسم التشغيل وتتوزع منها على الانابيب المتوازية

ويبين المجمعات الخروجية (الجامعة) 2 التي يصل اليها

جسم التشغيل من الانابيب المتوازية ليخرج منه الى العنصر التالي

في مرلد البخار . وهناك ايضا نوع ثالث من المجمعات هو النوع

المازج والذي يقوم بتعديل عدم التماش في عمل الانابيب .

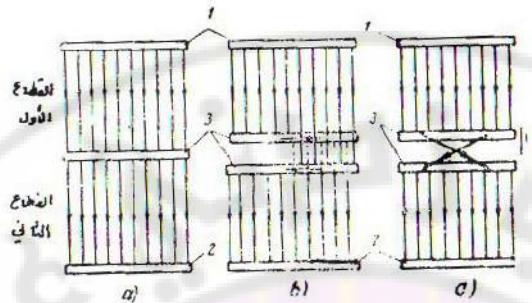
تعمل المجمعات المازجة بشكل فعال في حالات جسم التشغيل المتألف

من طور واحد (ماء او بخار) ووتستخدم بشكل واسع في المحمصات .

تلعب طريقة ادخال البخار الى المجمع الدخولي او اخراجه من

المجمع الخروجي دورا كبيرا في نظام عمل المحمص ، وفي بعض

التصميمات تستخدم طريقة الادخال الطرفي للبخار ،



الشكل (١٦٥) : المجمعات وتوصيلها مع جملة الآتاييف.

٩ - المخطط الخطى ، ٦ - نقل الجريان من خلال المجمعات المزجية ، ٧ - نقل الجريان من خلال الانابيب المتقطعة .

في المخطط ٢ (الشكل ١٧-٥) تتناقص السرعة المحورية ضمن المجمع الدخولي مما يؤدي الى هبوط الضاغط السريري Wen^2 بسبب تحوله الى ضغط ستابتيكي ، ونرى التحول معكوسا في المجمع الخروجي .

تعمل مع فرق **الضغوط** الذي يساوي : من الشكل ١٧-٥ نرى أن الانابيب **الحلزونية** الطرفية اليسرى

$$\Delta P_{ser} + \Delta P_{st}^{en} + \Delta P_{st}^{sor}$$

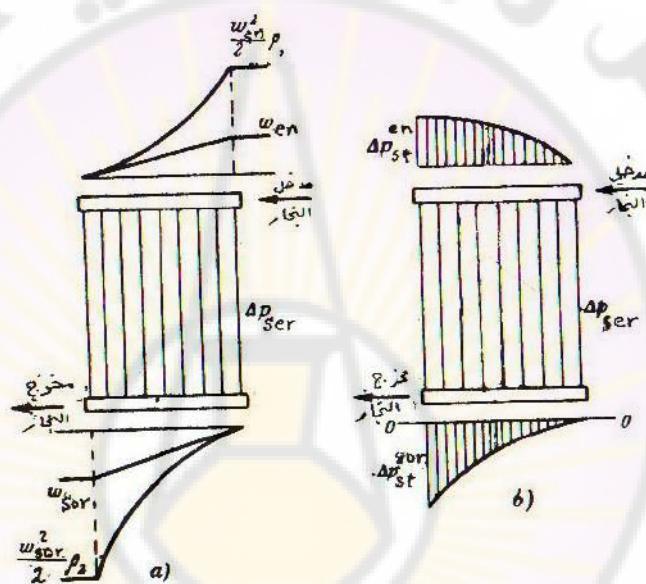
والواضح انه اكير من فارق الضغط المؤشر في الانابيب الطرفية اليمني الذي يتتألف من فرق الضغط في الانبوب الحليوني فقط.

حیث

ΔP_{st}^{SOr} - فروق الضغط الستاتيكية في المجمعين

الدخولي والخارجي ؟

٤) - فرق الضغط على الانبوب الحلزوني .



الشكل (١٧-٥) : المخطط الهيدروليكي للمممسن
الموصل على الشكل Z .

a) - توزيع السرعة والضغط السرعوي ، b) - توزيع الضغط .

٥- اسس الحساب الهيدروليكي للجملة المغلقة

المعادلات الاساسية للدوران

في مولدات البخار ذات الدوران الطبيعي يظهر الضاغط المحرك بسبب تسخين الانابيب ويعطي بالعلاقة :

$$S_{mob} = H (\beta - \beta_n) \cdot g , \quad (24-5)$$

حيث :

H - ارتفاع الاطار ، m :

β - كثافة الماء والمزيج البخاري المائي، Kg/m^3 :

g - تسارع قوة الجاذبية . m/sec^2

العلاقة السابقة تفترض ان المزيج البخاري المائي يملأ الانابيب الصاعدة في كامل ارتفاعها ، في الواقع يبدأ الغليان المتتطور فوق مدخل الانابيب الصاعدة ، ولهذا ينقسم الارتفاع الاجمالي للانابيب

إلى القسم الوفري h_{wf} والقسم البخاري h_{eb}

ويتعدد ارتفاع القسم الوفري انتلاقاً من مساواة علاقة كمية الحرارة التي يلزم نقلها للماء للوصول به إلى الغليان في الجزء الوفري :

$$\left[\Delta h_{eb} + \frac{\Delta T}{\Delta P} \cdot g \cdot 10^5 \left(h_{des} - \frac{\Delta P_{des}}{g \cdot g} \right) - \right. \\ \left. - h_{wf} \cdot g \cdot \frac{\Delta T}{\Delta P} \cdot 10^5 \right] \cdot D_d , \quad KJ/sec$$

مع كمية الحرارة المكتسبة من الموقد في الجزء الوفري :

$$Q_{eer} = \frac{h_{ec}}{h_{eir}}$$

ومنه يكون لدينا ارتفاع القسم الوفري :

$$h_{ec} = \frac{\Delta L_{hb} + \frac{\Delta L}{\Delta P} \cdot g \cdot 10^5 \left(h_{des} - \frac{\Delta P_{des}}{g} \right)}{\frac{Q_{eir}}{h_{eir} D_c} + \frac{\Delta L}{\Delta P} \cdot g \cdot 10^5} \quad m. \quad (25-5)$$

حيث :

- ارتفاع الانابيب الهابطة للاطار ، m : h_{des}

- ارتفاع انابيب المعاكس (المسخنة) ، m : h_{eir}

- كمية الحرارة المكتسبة في المعاكس ، KJ/sec : Q_{eir}

- تصريف الماء في الاطار . Kg/sec : D_c

- مقاومة الانابيب الهابطة ، P_e : ΔP_{des}

- سقى التسخين حتى الغليان في الحلة ، KJ/Kg : Δh_{hb}

- الحد $(h_{des} - \frac{\Delta P_{des}}{g}) \cdot 10^5 \cdot g \cdot 10^5$:

نقم تسخين المياه في المجمع الاسفل بسبب ارتفاع

الضغط المستاتيكي الهندسي (مع حساب المقاومات

الهيدروليكية لانابيب الهابطة)

$\frac{\Delta h}{\Delta P} \cdot g \cdot 10^5$ - تغير انتالبي الماء في ارتفاع قدره واحد متر ويحدد

من الجداول الترموديناميكية بدلالة الضغط P في الحلة

(P تؤخذ في وحدة البار) ، $KJ/Kg \cdot m$!

- تغير الانتالبي بسبب تسخين الماء في كل متر من ارتفاع
الجزء الوفري ، $KJ/Kg \cdot m$.

في مولدات البخار ذات الموفر الغلياني يصبح ارتفاع القسم الوفري
صغيرا ولا حاجة لعدده لأخذ بعين الاعتبار .

عند نظام العمل المستقر يتوازن الضاغط المحرك مع المقاومة
الهيدروليكيه التي تظهر بسبب حركة المياه والمزيرج البخاري المائي
في جزئي الاطار الهابط ΔP_{des} والصاعد ΔP_{rel} وبالتالي نكتب

$$S_{mob} = \Delta P_{rel} + \Delta P_{des} , P_c , (26-5)$$

يسهلك الضاغط المفید ΔP_{rel} في التغلب على المقاومة الهيدروليكيه
للحلقات المائية

$$S_{ut} = S_{mob} - \Delta P_{rel} = \Delta P_{des} , P_c , (27-5)$$

لحل معادلة الدوران الاخيرة - يتوجب معرفة الكمية φ (انظر
العلاقة 10-5) ، التي تعتبر تابعاً معمداً بالنسبة للكميات
 d ، P ، w_0 ، w_0'' ،
البسيطة التالية :

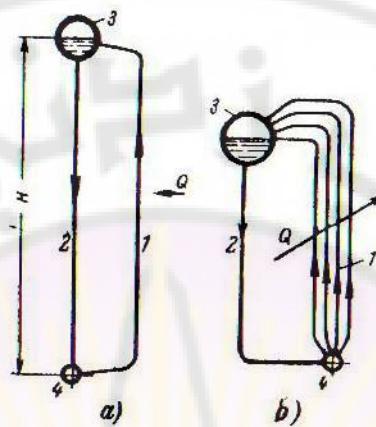
$$\varphi = C\beta , (28-5)$$

في حالة الحركة الصعودية وبسبب الحركة النسبية للبخار تكون حصة المقطع المشغول بالبخار اصغر من القيمة المتوقعة من نسبة تصريف البخار والماء ومنه ينتج ان $\beta < \frac{c}{\gamma}$ ، والعكس صحيح في حالة الحركة الهبوطية : $\gamma < c$ و $\beta > \frac{c}{\gamma}$. في حالة الضغط العالي تكون سرعة انزلاق البخار النسبية صغيرة لذا يمكن اعتبار $\beta = \frac{c}{\gamma}$ و $c \approx 1$. في الجداول يمكن تحديد قيمة c ضمن مجال واسع للضغوط . طريقة الحساب

تقسم اطارات الدوران الطبيعي الى بسيطة ومعقدة ، في النوع الاول (الشكل ١٨-٥ ، a) تمتلك الانابيب الصعودية خواصا هندسية وحرارية متماثلة :

القطر ، الطول ، شكل الانابيب ، شروط التسخين ، كتيريب اولي يمكن اعتبار المعاكس اطارا بسيطا في اطارات الدوران الطبيعي المعقدة تختلف الانابيب الصعودية في خواصها الهندسية والحرارية . مخطط الدوران البسيط

يجري اجراء حساب الدوران بعد ان يتم الحساب الحراري لمولد البخار ، وبعد تحديد المميزات التصميمية للاطارات الدورانية ، واعتمادا على معطيات الحساب الحراري (التسخين) والسرعة ω تحدد قيم β ، S_{mob} ، S_{ut} وبالتالي ΔP_{des} و بما ان سرعة الدوران غير محدودة تفترض في البدء عدة قيم لها (الجدول ١٥) وكل من القيم المفترضة تحدد S_{ut} و ΔP_{des} .



الشكل (١٨-٥) : اطر الدوران السطح (a) والمعقد (b).

- الانابيب الصاعدة ، ٢- مثيلتها الهابطة ، ٣-
- الحلة ، ٤- المجمع

الجدول ١-٥

حدود سرعة الماء عند مدخل الانابيب الصاعدة m/sec	عناصر اطر الدوران
$0,5 \div 1,5$	العواكس الداخلية مباشرة إلى الحلة
$0,2 \div 1,0$	العواكس التي تتضمن أنبوبا ممتعا على بوا

يجري تحديد نقطة العمل في الأطوار الدورانية بانشاء منحنيات التوابع $f(w)$ و $f(p_{des})$ على المخطط الذي تتوافق احداثياته مع معادلة الدوران (27-5) ، (الشكل ١٩-٥)

يجري حساب الدوران من أجل ثلاثة قيم لسرعة الدوران w_1, w_2, w_3 . وبالتالي يحدد ما يلي :

- مقاومة الجزء الهبوطي الذي تتحرك فيه المياه

$$\Delta P_{des} = \sum \left(f \cdot \frac{w_{des}}{2} \right) \cdot P_e \quad (29-5)$$

حيث :

\sum - معامل المقاومة الاجمالي (الدخول الى الانابيب ، الاحتكاك ، الالتفاف ، والخروج من الانابيب) ؛

$w_{des} = \frac{f_{rel} \cdot w_0}{f_{des}}$ - سرعة الماء في الانابيب الهابطة ، m/sec ؛

f_{rel} - المساحة الاجمالية لمقطع الانابيب الصعودية ، m^2 ؛

f_{des} - المساحة الاجمالية لمقطع الانابيب الهبوطية ، m^2 .

- ارتفاع الجزء الوفري (اذا شوجب ذلك) وبالتالي ارتفاع القسم التوليدى

$$h_v = H - h_{ec} \quad , \quad m \quad , \quad (30-5)$$

٣- المقطع النسبي المشغول بالبخار بالعلاقة (28-5) :

٤- الكثافة الحقيقة للمزيج البخاري المائي بالعلاقة (12-5)

٥- الضاغط المحرك للدوران - بالعلاقة (24-5) ؛

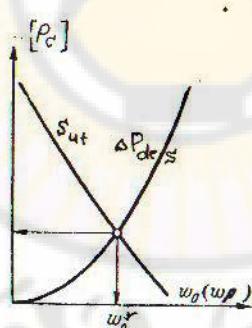
٦- مقاومة الجزء المعدني الذي يتحرك فيه المزير البخاري المائي ولذلك تستعمل علاقة من الشكل (٥ - ٢٩) حيث بدلا من μ' توضع الكمية $[1 - \frac{\mu''}{\mu'} \bar{x} + 1] \mu'$ فيكون لدينا :

$$\Delta P = \sum \mu \cdot \frac{w_0^2}{2} \cdot \left[1 + \bar{x} \left(\frac{\mu'}{\mu''} - 1 \right) \right], \quad (5-34)$$

حيث :

$\sum \mu$ - المعامل الاجمالي (الدخول الى الانبوب ، الاحتكاك ، الالتفاف والخروج من الانبوب) مقاومة الجزء الصاعد من الاطار الدواراني .

٧- الشاغط المفید للدوران من العلاقة (٥ - ٢٧) بالاعتماد على المعطيات الناتجة ينشأ مخطط الدوران (شكل ١٩-٥) وتحدد سرعة الدوران الفعلية w_0 . بالاعتماد على قيمة w_0 وكمية البخار المتشكل يحدد مقاوم الدوران وتدقق كافة مؤشرات الدوران المتبقية .

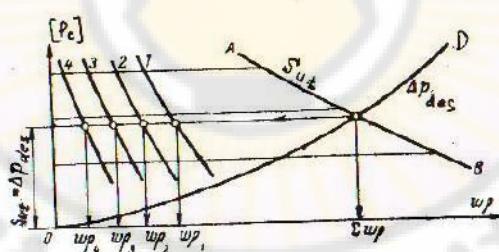


الشكل (١٩-٥) : مخطط الدوران في الاطار البسيط .

w_0 - سرعة الدوران الفعلية .

اطار الدوران المعقّد

حسب التسلسل الوارد بالنسبة للاطار البسيط تنشأ من حيثيات الصواغط المفيدة ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ لكل صد من الاطار المعقّد (الشكل ٢٠-٥) ، ولإنشاء العمimir الاجمالي AB للاطار يستفاد من كون الصفوف المذكورة تعمل على التوازي بفوارق ضغوط واحدة ، ولهذا السبب تجمع تصارييف المياه الموافقة لقيم الصواغط المفيدة المتماثلة العائدة لهذه الصفوف ، على المخطط ذاته ينشأ منحي القسم OD الهابط من الاطار الدوراني والمشترك بالنسبة لكافة الانسabib المعايدة . ويتقاطع المنحنيين السابعين تحدد النقطة العاملة لمخطط الدوران . وبالاعتماد على احداثيات نقطة التقاطع يمكننا ايجاد تصريف الماء الاجمالي والصواغط المفيدة ، ويمكن ايجاد تصارييف الماء خلال الصفوف بتقاطع الخط الافقى الممار من خلال النقطة العاملة للمخطط مع منحنيات الصواغط المفيدة لكل من هذه الصفوف .



الشكل (٢٠-٥) : مخطط الدوران في الاطار المعقّد .

الخطوة التالية بعد تحديد تصريف الماء وكمية الـبخار الناتجة هي ايجاد القيم الفعلية لكل من Δh و Δq و ΔT ومضاعف الدوران العام .

دورة

وثقية انظمة الدوران

يجري حساب الاطار الدوراني من شروط العمل الوسطية (الحسابية) . عملياً تطبق هذه الشروط فقط على اغلبية الانابيب العاملة على التوازي ، بينما تعمل بعض الانابيب في شروط الانتقال الحراري الرديء ، مما يغير انظمة عملها بشكل كبير . وقد يؤدي ذلك الى وقوعها في نظام عمل خطير ، ~~وهي الاسباب المؤدية الى ذلك :~~ الطبقة الشرسية الداخلية ، الاكسدة القلوية، وتؤدي هذه الاسباب الى الانظمة الخطرة التالية :

١- توقف الدوران

وعند ذلك تصل سرعة الدوران الى الصفر تقريباً ويملأ الـبخار جزءاً ضئيلاً من مقطع الانبوب ، ويطفو فوق الماء الذي يتحرك ببطء شديد ، ويحدث ذلك في الاماكن المناسبة من الانبوب (الوصلات الالتحامية ، الالتفافات) ، وذلك بالنسبة للانابيب ضعيفة التسخين وفي الاطر الدورانية التي يخرج فيها الـبخار الى الحيز المائي من الحلة .

٢- المستوى الحر

ويحدث في حالة توريد المزج الـبخاري المائي الى الفراغ الـبخاري في الحلة ، يمكن ظهور مستوى الماء الحر في الجزء العلوي من انابيب توليد الـبخار ضعيفة التسخين وفوق هذا المستوى يتحرك

البخار الذي يملأ كل المقطع ببطء ويؤدي ذلك إلى رداءة الانتقال الحراري وإلى تشكيل الترسبات الملحة في منطقة المقطع الفاصل بين الماء والبخار .

٣- انعكاس الدوران

ويحدث في أنابيب توليد البخار ضعيفة التسخين حيث تتنقل بحركة المعودة إلى هبوطية ، ويمكن للبخار حينئذ أن يتحرك صعوداً أو هبوطاً تبعاً لسرعة الماء وقوى الرفع ، ويمكن لفقاعات البخار أن تتعدد في تشكيلات كبيرة تشغل كل مقطع الأنابيب ، مما يؤدي إلى انخفاض الانتقال الحراري وزيادة تسخين الأنابيب ، وفي حالات سرعة الدوران الصغيرة جداً (أقل من 50.1 m/sec)

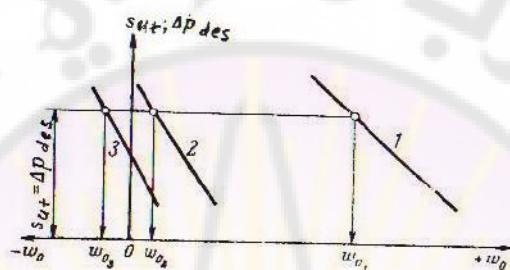
يصبح الجريان غير مستقر صعوداً وهبوطاً . يحدث انعكاس الدوران في أنابيب توليد البخار الموصلة إلى الجزء السائل من الحلة .

تحدث مختلف الأنظمة الجريانية الخطورة السابقة في أنابيب التوليد ضعيفة التسخين والتي يمر فيها قليل من الماء وبذا تكون سرعة الدوران صغيرة أو حتى سلبية (الشكل ٢١-٥) ، بينما يجري في الأنابيب جيدة التسخين كثير من المياه وتكون السرعات فيها كبيرة .

و^{هـ} (نفس الشكل) .

ـ تطبق جريان المزج البخاري المائي وينتشر في الأنابيب الأفقية أو في الأنابيب ضعيفة الميل عند سرعات الدوران الصغيرة ، ومع ارتفاع كل من التسخين واقتصر الأنابيب تزداد أخطار التطبيق ، ولذلك هذه الاحتمالات يتوجب تأمين

السرعة نوكاتة الكافية (انظر الشكل ١٠-٣) و تتأكد و شوميتس
الاطار الدوراني بالغا انتابيب الافقية وضعيفة الميل .

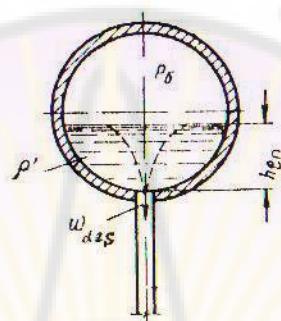


الشكل (٢١-٥) : تأثير عدم التجانس في تسخين انباب
البخار المتوازية على سرعة الدوران واتجاه الحركة .
١- s_{ut} للانباب شديدة التسخين ، ٢- s_{ut} للانباب
ضعيفة التسخين ، ٣- s_{ut} للانباب الضعف تسخينا .

تشكل البخار في الانابيب الهابطة

- * يحدث تشکل البخار في الانابيب الهبوطية لاسباب معينة منها هبوط الضغط او سحب البخار الى الانبوب الهابط مما يتسبب البخار النازل عبر الانابيب الهبوطية في امتلاء الانابيب الصعودية بناءً بعد وصوله اليها ، مما يغير بشكل كبير نظامها الحراري .
- * يمل البخار الى الانابيب الهبوطية من الحجم البخاري او الحجم المائي للحلقة ، في الحالة الاولى يتشكل البخار بسبب هبوط الضغط

عند مدخل الانابيب الهبوطية وتشكل حينئذ دوامة فممية (الشكل ٢٢-٥) تساعد في تمرير البخار من الوسط البخاري مباشرة إلى الانابيب الهابطة .



الشكل (٢٢-٥) : القمع الدوامي في الحيز المائي من الحلة والارتفاع اللازم لمنع تشكيله .

ولمنع مثل هذا الاحتمال يرفع مستوى المياه في الحلة فوق مدخل الانابيب بمقدار يعطى بالعلاقة التالية :

$$\underline{h_{en}} = 0,65 \cdot d_{des} \cdot \left(\frac{w_{des}}{w_c} \right)^{0,5}, \text{ m} \quad (32-5)$$

حيث ان :

d_{des} - القطر الداخلي للانابيب الهابطة ، m

w_{des} - سرعة دخول الماء في الانابيب الهابطة ، m/sec

w_c - سرعة جريان الماء في الحلة ، m/sec

من العلاقة (32 - 5) نرى انه عند تصميم الاطار الدوراني يتوجب تخفيف w_{des} قدر الامكان ووضع الانابيب الهبوطية في اجزاء الحلة السفلية .

في الاستثمار يتوجب المحافظة على مستوى الماء في الحلة ضمن الحدود المقررة ، لأن تجاوزها قد يؤدي الى تشكل نظام الفنخرب في الانابيب الهابطة .

الفصل السادس

تمهيد سطوح التسخين .

تمهيد : **سؤال**

تغير كميات الحرارة اللازمة لتسخين الماء وتوليد البخار (حرارة البخار) وتحميصه تبعاً لضغط البخار المطلوب، وعلى ذلك تتغير كميات الحرارة المكتسبة في مختلف سطوح التسخين تبعاً لهذا الضغط ، ومن جهة أخرى تؤثر درجة حرارة مياه التقذية تأثيراً مباشراً على التقسيم الحراري بين سطوح التسخين والجدول ١-٦ يبين بعض الأمثلة العملية على ذلك .

الجدول ١-٦

التوزيع الحراري بين سطوح التسخين %			درجة حرارة مياه التقذية °C	درجة حرارة البخار المحمص °C	ضغط البخار المحمص bar
سطوح البخار	الموفر	المحمص			
19	19	62	145	440	40
21	30	49	215	540	100
25	36	39	230	570	140
42	58	-	230	585	255

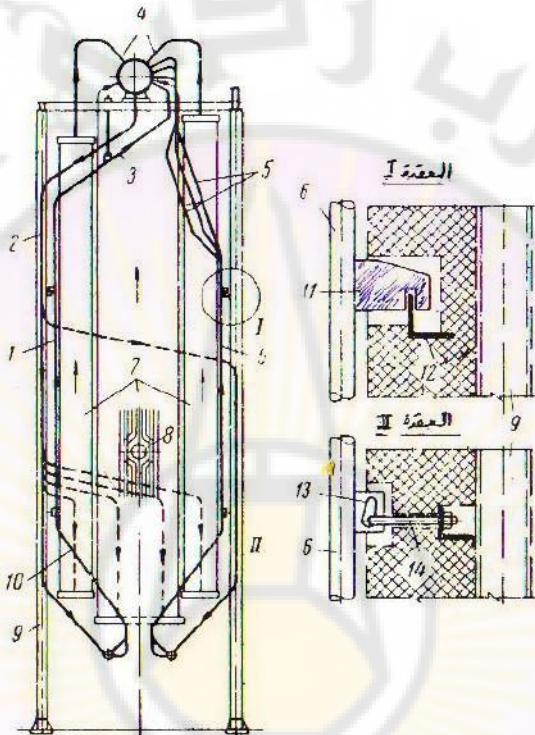
جامعة دمشق

يكون الموفر في مولدات البخار ذات الضغط المتزسط غليانياً والسبب في ذلك هو عدم تمكن أنابيب المعاكس من اكتساب كل الطاقة الحرارية اللازمة للبخار (الجدول ١-٦) . في مولدات البخار عالية الضغط ذات الحلة تنخفض الطاقة الحرارية البخارية (بسبب ارتفاع الضغط)، وتنصع كمية الحرارة المكتسبة في الموقود كافية لتوليد البخار، ولهذا السبب لا يتطلب من الموقود العمل في شروط العليان .

١-٦ تصميم سطوح التسخين البخارية

١- مولدات البخار ذات الدوران الطبيعي تلعب عواكس الموقود دور سطوح التسخين الأساسية التي تقوم بوظيفة توليد البخار . على الشكل ١-٦ يبين التوضع التقريري لعواكس الموقود التي تستند إلى جدران الموقود في مولد بخار متزسط الضغط ، تتشكل العواكس ١ ، ٦ ، ٧ ، جملة أنابيب شاقولية مرتبطة على التوازي ، وهناك أجزاء تكون فيها الأنابيب مائلة بتأثير شكل الموقود (الوضعيات ٥ ، ١٠ ، ٣ ، ٨ ،) أو لأسباب مختلفة، في مولدات البخار ذات الضغط العالي تزيد الطاقة الحرارية الأشعاعية المنطلقة في الموقود عن الكمية اللازمة للبخار ، ولهذا السبب تتحرر جدران الموقود قليلاً ، ويصبح بالامكان إضافة سطوح تسخين أخرى ، وتوضع سطوح البخار على الجدران الشاقولية ، أما السقف المائل فسيتبدل بسطح أفقي «ويتوتر عليه المحمص (الوضعيه ٤ على الشكل ٢-٦) .

تغطى جدران الموقد بالعواكس التي تنفذ من انباب ملساً اقطارها الداخلية 50 ، 70 ، 50 ، اما اقطار الانابيب الهابطة فتؤخذ حوالي 60 - 130 mm ، وتؤخذ مساحة مقاطعها متساوية $0,3 \div 0,5$ من المساحة الاجمالية لمقاطع الانابيب الصاعدة



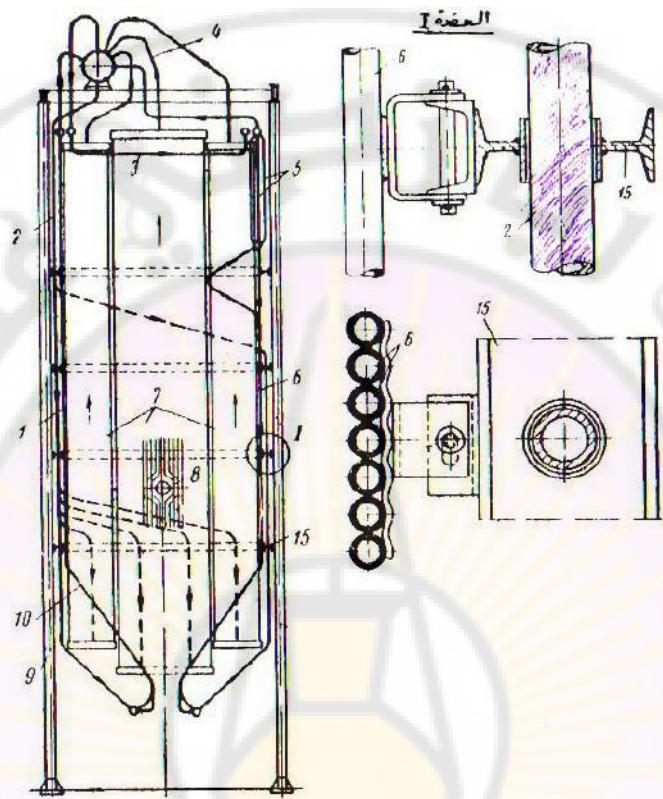
الشكل (١-١) : مخطط توضع عواكس مولد بخار متوسط الضغط .
 ١- المعاكس الجبلي ، ٢- الانابيب الهابطة ، ٣- الانابيب السقفية ،
 ٤- انابيب التوصيل ، ٥- الفيستون ، ٦- المعاكس الخلفي ، ٧- العواكس
 الجانبية ، ٨- تباعد الانابيب عند الفتحات ، ٩- الهيكيل ، ١٠- القمع
 البارد ، ١١- الشم الاستنادي ، ١٢- عارضة ، ١٣- الرعنفة ، ١٤-
شن الشد .

وتدخل الشهيات العلوية لانابيب العواكس مباشرة في الحلقة (الوضعيات ٤ ، ٥ ، ٦ على الشكل ١-٦) ، او من خلال انبوب مجمع (الوضعية ٣ على الشكل ٢-٦) ، ويترك المجال للتمدد شاقولييا بالنسبة لكافة الانابيب المجمعة السفلية .

يستخدم لتصميم العواكس الاسلوب الوارد على الشكل ١-٦ ، حيث تمدد الانابيب مع المعاكس بشكل مستقل عن الغطاء ، ويسمح العنصر العلوي (العقدة ١) بتمدد جملة الانابيب نحو الاعلى بينما يتيح العنصر الثاني (العقدة ٢) ذي الكلبة لشبكة الانابيب المجال للتمدد نحو الاسفل .

في التصميم المبين على الشكل ٢-٦ تتدفق العواكس مسبقاً في المصنع ، وتتوسط كافة انابيب التجميع العلوية في مستوى واحد تقريباً ، وتعلق الى هيكل مولد البخار . تحاط العواكس ١ : ٦ ; ٧ ، بأحرمة المثانة ١٥ المصنوعة من الفولاذ البروفيلي وتحرك العواكس مع الاحزمة شاقوليما ، ويتحرك الغلاف المرتبط بالعواكس بشكل مماثل . وعلى هذا الشكل يحمل هيكل المولد بجملة الانابيب بالإضافة الى الغلاف مع غطائه الخارجي ، على الشكل ٢-٦ يبين عنصر تشحيم العواكس والانابيب الهادئة مع احرمة المثانة المتحركة (العقدة ١) ، وستتمكن جملة الانابيب بأكمالها من العواكس والغلاف من التمدد بحرية نحو الاسفل ، ويعوض تمدد انابيب توصيل البخار الى الحلقة ٤ بمساعدة الاجراء المحنية منها .

في مولدات البخار ذات الامانة الكبيرة توضع العواكس العزوجة الاضاعة ، والتي تقسم المولد الى غرف منفصلة ، وتتيح العواكس المردوجة الاصابة تخفيف حجم غرفة المولد ، وتتدفق من انابيب



الشكل (٢-٦) مخطط توضع العواكس في مولد عالي الضغط.

نفس الرموز الواردة على الشكل ١-٦ . ١٥ - حرام المتانة .

ملساً وتعلق بشكل مماثل للعواكس الجدارية . وتحتوي على شوافد

للتحافظة على تساوي الصبطة في غرف الموقد (الشكل ٣-٦) ولزيادة

متانتها تلحم الأسماك في سقاط محددة .

٢- مولدات الجريان المباشر

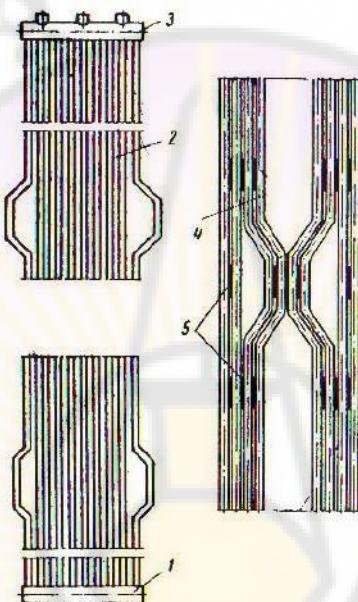
يشترط في سطوح البحر العائدة لمولدات الجريان المباشر دفع جسم التشغيل ضمن الانابيب بسرعات مناسبة تحول دون حرق الانظمة الهيدروليكيّة ، وتتّخذ العواكس اوضاعاً متّوّعة في الفراغ ، فهناك العواكس الشاقوليّة والافقية والصاعدة المهايطة ، وستتعرّض هنا للعواكس الأفقية فقط .

تستعمل في مولد البخار رامزين ، حيث تلف انابيب البخار ذات الاقطرار 40 ± 25 على كافة جدران حجرة الموقد ، وبخطوة صاعدة نحو الأعلى ، وتستعمل مخطّطات عديدة للف ، وتوضع الانابيب ضمن شريط وبراوية ميل لتأمين صعود الانابيب ، على الشكل ٦-٤ يبيّن مخطّط لنشر عواكس الموقد ، حيث تغطي الجدران الجانبية بأنابيب مائلة ، بينما تغطي الجدران الباقيّة بأنابيب أفقية ، ولتجنب انحساء الانابيب الأفقية تثبت في ثلاثة نقاط ، في النقطة الوسطى يتحقّق تثبيت كامل ، وفي الاطراف يُؤخَذ بعين الاعتبار ضرورة حرقة الانابيب (الشكل ٦-٥) ، وتتمكن الانابيب من الحركة بالنسبة لبعضها البعض ، وترتبط انابيب البخار مع هيكل المولد .

٢-٦ تصميم المحمّمات وتنظيم درجة حرارة التحفيظ

تقوم المحمّمات بوظيفة رفع درجة حرارة البخار المولد فوق درجة الاشباع وحتى المستوى الحراري المطلوب ، وتعتبر من أكثر عناصر مولد البخار مسؤولية نظراً لارتفاع درجة حرارة البخار فيها . تتفّق محمّمات الفضط المتوسط من الفولاذ الفجمي ، الذي يسمح

بوصول درجة الحرارة العاملة حتى 500°C وتشوش في الجزء
الحملي من مسار الغازات ولذلك تدعى بالمحممات الحملية .



الشكل (٣-٦) مجموعة المعاكس مزدوج الاضاءة .

١- الحجرة السفلية ، ٢- انباب المجموعة ، ٣- الحجرة
العلوية ، ٤- التوأفت ، ٥- اماكن التحام الانباب .

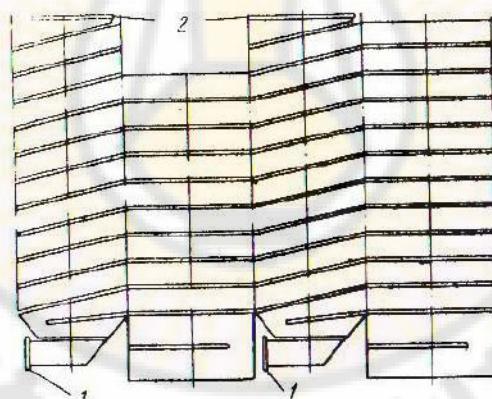
مع ارتفاع الضغط ترتفع كمية الحرارة التي يكتسبها المجمع، وتصل
عند الضغط 140 bar إلى $45\% \pm 35$ من الحرارة الإجمالية

وفي هذه الشروط يتوجب استخدام الفاصل من الطاقة الاربعائية ،

المتباعدة في الموقد لتحميس البخار . ولهذا تتضمن مولدات البخار ذات الضغط العالي ما يسمى بالمحمص الشعاعي ، وعدا عن ذلك تستخدم المحمصات الستائرية التصف الشعاعية والتي تتوضع عادة بين المحمص الحولي ومثيله الشعاعي .

* من حيث الوظيفة يميز عادة بين المحمص الاولى ومكرر التحميس ، يقوم الاخير باعادة تحميس البخار المتتمدد جزئيا في العنفة البخارية ويبعد المحمص الاولى في فترة الایقاد ببخار الماء المولد ، ولهذا يمكن ان يتوضع ضمن الموقد .

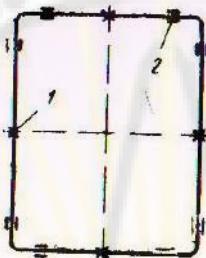
* اما مكرر التحميس فيبعد بالبخار العائد من العنفة وفي فترة الایقاد لا يمر البخار فيه الا بعد اقلاغ العنفة .ولهذا السبب يتوضع مكرر التحميس في منطقة التسخين المعتدل



الشكل (٤-٦) مخطط لنشر الغواكس الموقدية في مولدرا امزين .

١- المجمعات الدخولية ، ٢- المجمعات الخروجية .

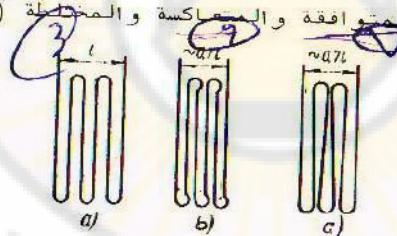
تنفذ المحمصات الحملية من الانابيب الفولاذية ذات الافتراض
 بـ 40 mm ، وتشكل متحنيات ثعبانية يزيد نصف قطرها الخارجي
 عن ضعفي القطر الخارجي للانابيب d_{ext} ، وتلتزم نهايات
 الانابيب مع انبوبي الدخول والخروج الاسطوانيين وتأخذ اتجاهات
 الانابيب اشكالا مختلفة (الشكل ٦-٦) .



الشكل (٥-٦) : مخطط تشبيث العواكس ذات اللفة الافقية للانابيب ،

- ١- تشبيث كامل
- ٢- تشبيث متحرك .

بعض اتجاهات حركة البخار ونواتج الاحتراق الغارقة يمكن بيانها
 انواع المحمصات المتفاقة والمماكسة والمختلطة (الشكل ٦-٧) .



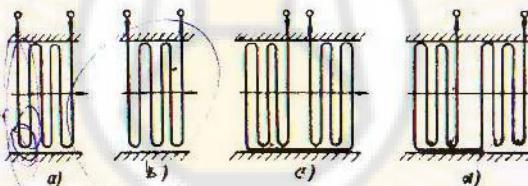
الشكل (٦-٦) اشكال الانابيب الافقية المستخدمة في المحمصات

- a - مستقيمة ، b - مكتفة ، c - مختلطة .

* في النوع المتعاكس (الشكل ٧-٦ ، a) يحقق الصاغط الحراري الاعظمي بين نواتج الاحتراق والبخار وهذا مما يخفف من سطح التسخين ومن استهلاك المعدن ، وتتلخص عيوب هذا النوع في امكانية احرار اثنين من الانابيب الاخيرة (حسب حركة البخار) بسبب ارتفاع درجة الحرارة العاملة ، في المخطط المتواافق تحسن شروط عمل المعدن وينخفض الضاغط الحراري . ويتميز النوع (المختلط) (الشكل ٧-٦ ، c ، d) بوضعيته واعتدال تكاليفه .

* يتوضع المحمص الحولي في الممر الافقي للغازات الذي يقع بين غرفة الموقد والمنجم الحولي .

* تأخذ الانابيب المثلثية الوضعية الشاقولية للمسؤولية في التثبيت والبساطة في التصميم وتعزز هذه الوضعية تصريف المياه المتراكمة من الانابيب في فترات الصيانة .



الشكل (٧-٦) مخططات الحركة النسبية للبخار مقابل حركة غازات الاحتراق في المحمصات .

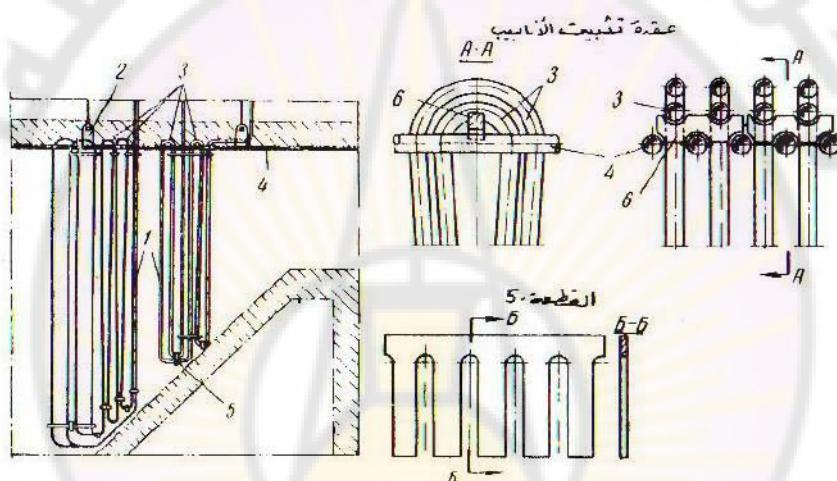
a - جريان متعاكس ، b - جريان متواافق ، c ، d - جريان مختلط .

٨-٦ يبين احد اشكال التثبيت ، تثبيت العقد العلوية من الانابيب

المثنية بالأنابيب السقفية التي تعلق بدورها إلى هيكل الم——ولد

بخطافات وقد توصل .

وتستند العقد العلوية من أنابيب المحمص على الأسافين التي تستند بدورها على الأنابيب السقفية ، وتحدد المسافة بين العقد السفلية للأنابيب بمساعدة المشط (القطعة ٥ على الشكل ٨-٦) .



الشكل (٨-٦) تثبيت المحمص الحولي الشاقولي .

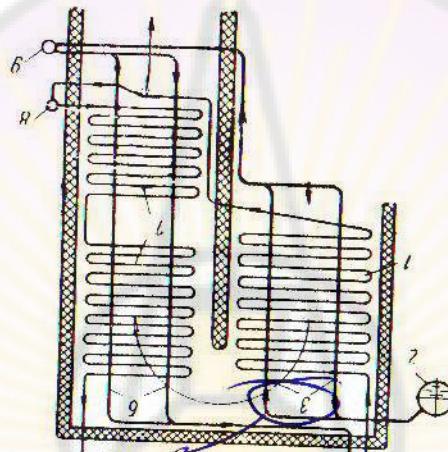
- ١-الأنابيب الأفعوية ، ٢-القعد المعلقة ، ٣-الثنيات العلوية للأنابيب ، ٤-الأنابيب السقفية ، ٥-الامشاط المساعدة ، ٦-قطع استنادية .

ثبات المحمصات الأفقية بالتعليق من أعلى بمساعدة أنابيب يمر فيها

الماء (الشكل ٩-٦) .

يتالف المحمص المستشاري من أنابيب متراصة ، متوازنة في مستوى

واحد ، وتتصل نهاياتها مع انباب التوزيع والتجميع . وتتوسط المحمصات الستائرية في الجزء العلوي من الموقد مع وجود مسافات فيما بينها (1,0 m بـ 0,7) وتأخذ الوضفية الافقية او الشاقولية وتعلق الى انباب التجميع والتوزيع (الشكل ٩-٦) ويحافظ على المسافات بين الستائر بربط انباب البارزة بحلقات توصيل .



الشكل (٩-٦) تشبيث المحمص الحولي الافقى على الانباب المعلقة .

- مرحلة التحميص الاولى ، ٢ - الحلة ، ٣ او ٤ - الانباب المعلقة
- مجمعات وسطية ، ٥ - الحجرة الخروجية من المحمص ، ٧
- مرحلة التحميص الثانية ، ٩ - مجمع الانباب المعلقة .

تتميز الستائر الشاقولية بانخفاض امكانية ترسب الخبث على سطوحها الخارجية ، مما يسمح باستدامها في مولدات البخار العاملة على الوقود الغباري .

العلل

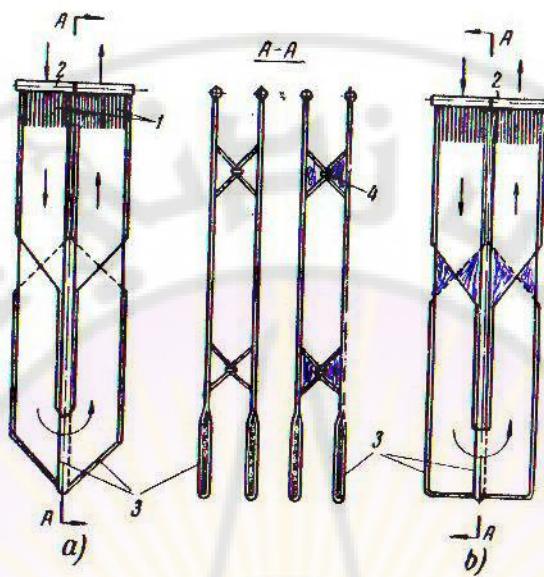
ويكمن العيب الاساسي للستائر ذات المجمعات العلوية في عدم امكانية تصريف المياه المتجمعة فيها خلال عملية الصيانة . ويؤدي وضـع المجمعات في اسفل الستائر الى التخلص من هذا النقص .

يتعلق خالق المجمع بمـؤشرات البخار وبطريقة توضع سطوح التسخين الـبخارية . يـنـفذ مـجمـعـ المـفـطـ المـتوـسـط ($P = 40 \text{ bar}$ ، $t_{80} = 440^\circ\text{C}$) بحيث يعمل على الحـمـلـ ويـتـوـضـعـ عـادـةـ خـلـفـ الفـيـسـتوـنـ (الشـكـلـ ٥،١١-٦) ويـتـعـرـضـ المـجـمـعـ لـتـرـسـبـ الخـبـثـ عـلـىـ سـطـوـحـ الـخـارـجـيـةـ كـسـبـيـ الـاـرـتـفـاعـ الشـامـلـ بـلـدـرـجـةـ الـحـرـارـةـ فـيـ المـوـقـدـ وـعـدـمـ التـجـانـسـ الـحـرـارـيـ الفـرـمـيـ .

يتـأـلـفـ المـجـمـعـ فـيـ حـالـةـ المـوـشـراتـ ($P = 100 \text{ bar}$ ، $t_{80} = 540^\circ\text{C}$) من جـزـئـيـنـ حـمـلـيـ وـسـتـائـرـيـ ويـتـوـضـعـ الـجـزـءـ الـسـتـائـرـيـ فـيـ الـجـزـءـ الـعـلـوـيـ من المـوـقـدـ ، قـبـلـ الفـيـسـتوـنـ ، بـيـتـمـاـ يـوـضـعـ الـجـزـءـ الـحـمـلـيـ فـيـماـ بـعـدـ فـيـ الـجـزـءـ الـاـفـقـيـ مـنـ مـسـارـ الـفـازـاتـ الـحـمـلـيـ (الشـكـلـ ٥،١١-٦) ، وـتـقـومـ الـسـتـائـرـ بـحـمـاـيـةـ المـجـمـعـ الـحـمـلـيـ مـنـ الـخـبـثـ .

في حالة المـوـشـراتـ ($P = 140 \text{ bar}$ ، $t_{80} = 570^\circ\text{C}$) يـتـحـتـويـ المـجـمـعـ عـلـىـ جـزـئـيـنـ : المـجـمـعـ الـاـولـ وـمـكـرـرـ التـحـمـيـصـ ولاـيـخـتـلـفـ الـجـزـءـ الـاـولـ عـنـ النـوـعـ السـابـقـ ، وـيـقـومـ مـكـرـرـ التـحـمـيـصـ بـاعـادـةـ تـحـمـيـصـ الـبـخـارـ بـعـدـ قـيـامـهـ بـعـملـهـ جـزـئـيـاـ فـيـ الـعـنـفـةـ الـبـخـارـيـةـ ، وـيـتـوـضـعـ مـكـرـرـ التـحـمـيـصـ فـيـ الـمـنـجـمـ الـحـمـلـيـ ، فـيـ مـكـانـ تـقـلـ فـيـهـ درـجـةـ الـحـرـارـةـ عن 850°C حيث لا ضـرـورةـ لـتـبـرـيدـهـ فـيـ فـترـاتـ الـاـقـلـاعـ .

تحـتـويـ المـجـمـعـاتـ ذاتـ المـوـشـراتـ الـاـعـلـىـ عـلـىـ أـجـزـاءـ اـتـعـاعـيـةـ ، وـذـلـكـ نـظـراـ لـازـديـادـ حـصـةـ الـحـرـارـةـ التـحـمـيـصـيـةـ مـعـ اـرـتـفـاعـ المـوـشـراتـ (الشـكـلـ ٥،١١-٢) .

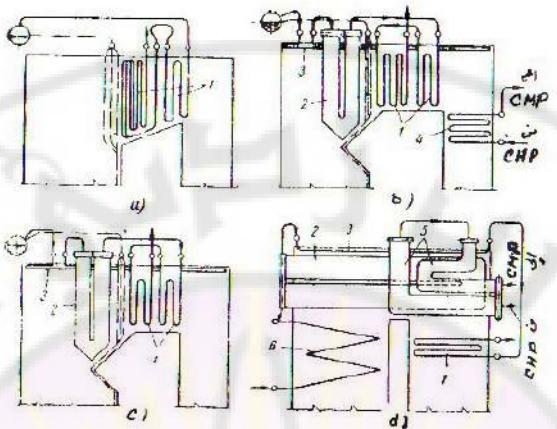


الشكل (١٠-٦) المحمصات الستائرية الشاقولية.

- ٤ - ذات الثنية الاسفينية ، ٥ - ذات الثنية الافقية
- ١- أنابيب الستائر ، ٢- الحجرات ، ٣- أنابيب الربط ،
- ٤- حلقة الربط .

و يتم التحكم بدرجة حرارة البخار المحمص

يعرف المميز التحكمي للمحمصات بتتابع درجة حرارة **البخار** المحمص بالنسبة لانتاجية المولد ، ويختلف هذا المميز تبعاً لنوع المميز ووظائف اقسامه ، والامر المميز بالنسبة للمحمص الاشعاعي هو انخفاض درجة حرارة **البخار** المحمص مع ازدياد الانتاجية (الشكل ١٢-٦) وتفسir هذا الامر هو ان الطاقة الحرارية الاشعاعية المكتسبة ترداد بسرعة اقل من ازدياد الانتاجية .

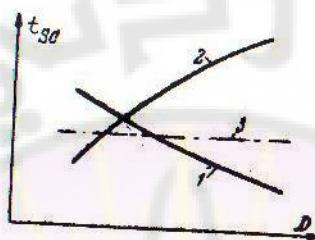


الشكل (11-6) مخططات المحمصات ،
 $t_{gc} = 540^{\circ}\text{C}$ ، $P=160\text{ bar}$ - a
 $t_{gc} = 440^{\circ}\text{C}$ ، $P=40\text{ bar}$ - b
 $t_{sc} = 565^{\circ}\text{C}$ ، $P=255\text{ bar}$ - c
 $t_{sc} = 570^{\circ}\text{C}$ ، $P=140\text{ bar}$ - d

- ١- محمص حملي اولي ، ٢- محمص ستاثري (اولي)
- ٣- سفقي ، ٤- محمص حملي وسطي (مكرر تحميص)
- ستاثري وسطي ، ٦- المعاكسات الموقدية .

في حالة المحمص الحملي تزداد كميات نواتج الاحتراق المارة خلاله بتناسب طردي تقريبا مع ازدياد الانتاجية ، حيث تزداد درجة حرارة الغازات المنتطلقة من الموقد ، ويزداد وبالتالي حجمها ، وهذا يؤدي بدورة إلى ازدياد معامل الانتقال الحراري ، مما يزيد من درجة حرارة السخان المحمص .
 يمكن التوصل إلى تثبيت درجة حرارة السخان المحمص بتخصيص ٥٠ % تقريبا من سطح المحمص لقسمه الشعاعي ، أما السطح المتبقى فيعمل بالحمل ، وبذلك يحصل على مميز اجمالي ثابت مع غير الانتاجية .

وقد يأخذ الممier طابعاً حملياً ضعيفاً في حالة تخفيف نسبة السطح
الشعاعي إلى $50\% \div 40$ (المتحني ٣ ، الشكل ١٢-٦)



الشكل (١٢-٦) - الممier التحكمي للمحمص.

١- الشعاعي ، ٢- الحملي ، ٣- المركب .

العوامل الاستثمارية المؤثرة على درجة حرارة البخار

بالإضافة إلى تأثير الانتاجية تتصل درجة حرارة البخار المحمص بعوامل أخرى منها درجة حرارة مياه التغذية ، معامل فائض الهواء اتساخ المعاكس والمحمص نفسه بالخبيث ، بطيء الوقود .

تثبت وظائف سطوح التسخين في مولدات البخار ذات الحلة ، حيث تعتبر الحلة نفسها حداً فاصلاً بين مختلف السطوح ، فالحلة تفصل ما بين الموفر وأسباب المعاكس ، كما وتفصل ما بين أسباب المعاكس وبين المحمص، في مولدات السخار ذات الجريان المباشر تتعرض وظائف

سطح التسخين للانزلاق نتيجة لعدم وجود الحلة .

يمكن تلافي تأثير انخفاض درجة حرارة مياه التغذية عن طريق زيادة تصريف الوقود لمتابعة تسخين الماء في المعاكس وترتفع درجة حرارة البخار المحمص في نفس الوقت نتيجة لتمرير كمية أكبر

من الغازات على المحمص .

* في مولدات الجريان المباشر تحدث الصورة المعاكسة ، حيث يؤدي انخفاض درجة حرارة مياه التغذية إلى انخفاض درجة حرارة البخار المحمص .

يحدث ازدياد معامل فاصل الهواء وارتفاع رطوبة الوقود واتساع سطوح التسخين بالخبث تأثيرات نوعية مماثلة لانخفاض درجة حرارة

مياه التغذية .

طرق التحكم بحرارة البخار المحمص

١- التحكم البخاري

يستخدم التحكم البخاري حسب احدى الطرق التاليتين :

١- بمساعدة مبادلات حرارية سطحية بخارية - بخارية .

٢- في مبردات البخار الحقنية .

في كلا الحالتين توضع سطوح احتياطية تزيد من تحميص البخار ثم

تزال زيادة التحميص بالطرق المذكورة .

تستخدم طرق اخرى للبخار الذي يكرر تحميمه مثل التبريد في المبادلات البخارية - البخارية والبخارية - الغازية او يتجاوز سطح المحمص الاحتياطي ، ولا يجوز استخدام مبردات البخار الحقنية لعدم اقتصاديتها في حالة تكرار التحميص .

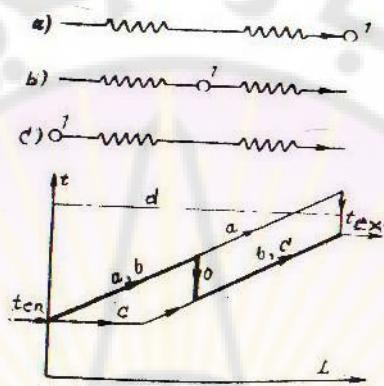
يوضع (مبرد البخار) بعد المحمص او في وسطه او قبله (الشكل

١٣-٦) وفي الحالتين الاخيرتين تؤمن الحماية الكافية لمعدن المحمص

وللعنفة البخارية ، كما ويتمين المخطط الاوسط بانخفاض العطالة

اعلى

وبالمرورنة حيث ينخفض فيه طريق البخار الواقع بعد المبرد ، يؤدي استخدام المخطط الاول (الشكل ١٣-٦) الى رفع درجة حرارة معدن المحمص فوق الحدود المسموح بها .



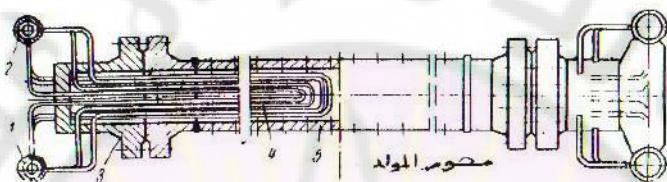
- الشكل (١٣-٦) تغير درجة حرارة البخار المحمص في مختلف مخططات توضع مبرد البخار .
- a - خلف المحمص ، b - في الوسط ، c - قبل المحمص ،
 - d - الحرارة المسموح بها ، e - مبرد البخار .

ـ مبرد البخار السطحي

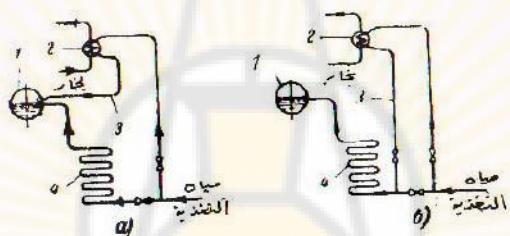
وهو عبارة عن مبادل حراري يحتوى على انباب على شكل حرف U تمر مياه التغذية المبردة من خلالها ، ويلامس البخار سطوحها الخارجية توضع الانباب ضمن الغلاف الخارجي الذي يمر منه البخار في مجموعتين متناهيتين (الشكل ١٤-٦) ،

يوصل مبرد البخار السطحي على التوازي او على التسلسل مع الموفر (شكل ٦-١٥، ٩، ١٥) ، ويستخدم المخطط الثاني بكثرة في

مقدمة
 التصميمات الحديثة، ويتميز عن سابقه بفعاليته الاقتصادية الأكبر ،
 حيث تستخدم الطاقة الحرارية لسوانح الاحتراق في منطقة الموفر بشكل
أفضل ويحمل هذا الامر اهمية اكبر في حالات الانتاجية الاعظمية .



الشكل (١٤-٦) مبرد البخار السطحي.



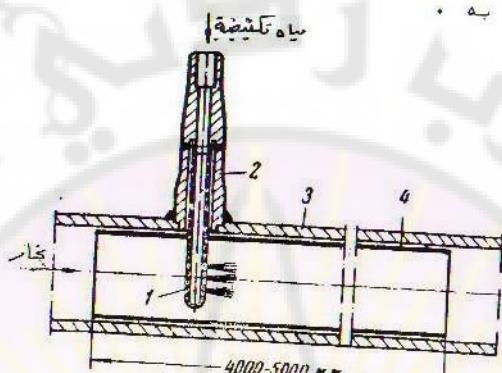
الشكل (١٥-٦) خط توصيل مبرد البخار السطحي مع الموفر.

- ٤ - على التواري ، ٥ - على التسلسل ، ٦ - الحلقة .
- ٢ - مبرد البخار ، ٣ - طرح المبناه بعد المبرد ، ٤ - الموفر .

ب - مبرد البخار الحقني

ويعتمد على قذف الماء المردد في وسط البخار المحمض (شكل ١٦-٦) ويختلف المبرد من انبوب يمر فيه البخار وتترد اليه المياه التكتيفية عالية النقاوة عبر رذاذ خاص يحتوي على ثقوب عديدة ١

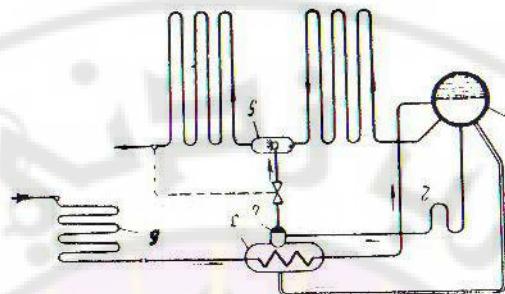
يقوم القميس الداخلي ٤ بوظيفة حماية الانبوب الخارجي ٣ من تيارات الماء البارد الممكنة والتي تنهك معدن الانبوب الخارجي في حالة اصطدامها به .



الشكل (١٦-٦) المبرد الترددية .

الشكل (١٦-٦) يتضمن مثلا على توصيل مبرد البخار الحقني ٥ الذي يحتوي على مكثف خاص ٣ ، تلعب فيه مياه التغذية الآتية من الموفر دور جسم التبريد ، يتكاثف البخار الخارج من الحالة ويتجمع في الحوض ٤ ، ثم يرد الماء المتكتاثف إلى المبرد الحقني يسيل الماء المتكتاثف الفائض إلى الحلة ١ عبر السيفون ٢ .

يشترط من المياه التبريدية للمبرد تحقيق مواصفات عالية من ناحية النقاؤة ، ويزداد هذا الشرط تشددا في حالة مولادات الحريران المباشرة عمليا يحتوي مسار البخار المحمص على عدة مبردات ترفع من دقة التحكم بدرجة الحرارة وتخفف من شروط عمل معدن المبرد الحقني



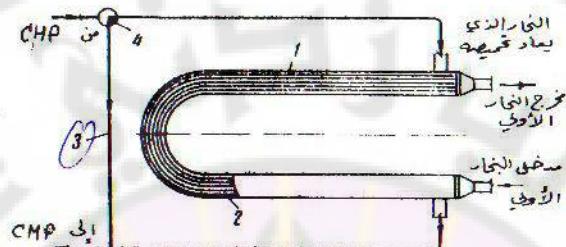
الشكل (١٧-٦) مخطط التحكم بالتحميص بمساعدة المياه التكتيفية الذاتية .

المبادل الحراري البخاري - البخاري

ويلعب فيه البخار الاتي من قسم الضغط العالي للعنفة البخارية دور جسم التبريد ، يستخدم المبادل الحراري البخاري - البخاري عندما يكون محمض البخار الاولى اشعاعياً ومكرر التحميص حملياً ، وفي هذه الحالة عند تخفيف الحمولة تزداد درجة حرارة البخار الاولى وتتنخفض درجة حرارة البخار الذي يعاد تحميسه (الشكل ١٢-٦) .

يتتألف المبادل الحراري البخاري - البخاري من جملة انباب ^٤ تمر ضمن انبوب مجمع كبير ^٢ (الشكل ١٨-٦) وتأخذ جملة الانباب شكل حرف ^٦ لتمكنها من التمدد ويمر البخار الاولى ضمن جملة الانباب بينما يمر البخار الاتي من قسم الضغط العالي للعنفة ضمن المجمع ويجري التحكم بدرجة حرارة البخار الثانوي ^١ ان يتتجاوز قسم منه المبادل الحراري عبر الانبوب ^٣ ويقوم الصمام

التحكمي ٤ يستمرير كمية البخار المناسبة عبر المبادل .



الشكل (١٨-٦) المبادل الحراري البخاري- البخاري .

اسطوانة الضغط العالي من العنفة ،
اسطوانة الضغط المتوسط من العنفة .

التحكم الغازي

ويجري بمساعدة طرق متعددة منها تدوير نواتج الاحتراق الغازية واستخدام الحرافات الموجهة ، واستبدال تشغيل طبقات الحرافات ، ويستخدم التحكم الغازي لتحديد درجة حرارة البخار المكرر تحميصه ويترافق مع ضياعات حرارية إضافية مع غازات الاحتراق ويندل طاقة إضافية لتدوير الغازات .

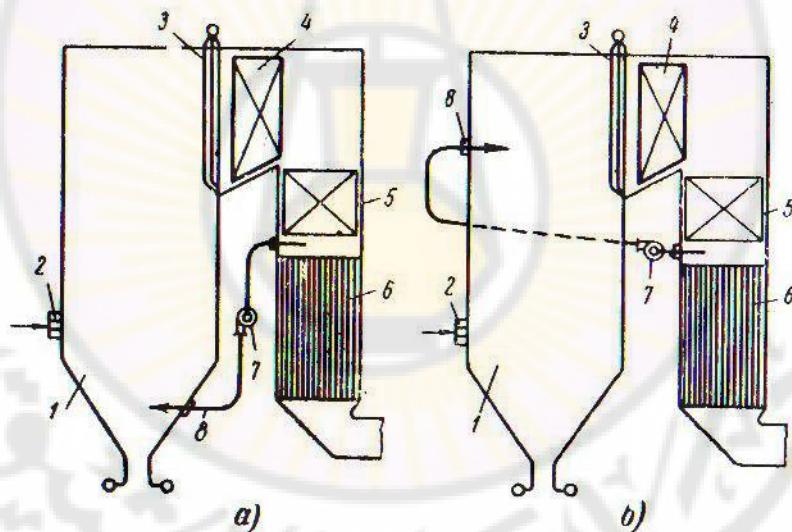
يساهم انخفاض كفاءة التحكم الغازي في المولدات الحديثة يستخدم الى جانب التحكم البخاري .

تدوير نواتج الاحتراق

تدفع نواتج الاحتراق الغازية من نقطة واقعة في المنجم الحولي بدرجة حرارة 350°C (عادة خلف الموفر) الى غرفة الموقد ،

ويتم ذلك بمساعدة مروحة انتصاص .

يؤدي دفع الغازات الى الجزء السفلي من الموقد (الشكل ٦،١٩) الى اضعاف نقل الحرارة المباشر في الموقد ، ومن ثم الى رفع درجة حرارة نواتج الاحتراق في مخرج الموقد ، كما ويؤدي التدوير الى زيادة كميات نواتج الاحتراق الملامسة للمحمر . وبالتالي يزداد الانتقال الحراري الحمل في المحمر ، تجري تقوية تدوير الغازات في حالة الحملات الجزئية للمولد البخار حيث تنخفض حرارة البخار المحمر وبالعكس يخفف التدوير في حالات الحملة الاعظمية حيث يزداد التحميم .



الشكل(٦،١٩) تنظيم درجة حرارة البخار بتدوير نواتج الاحتراق

- a - رمي الغازات الى اسفل الموقد ، b -

إلى أعلى الموقد ، ١- الموقد ، ٢- الحراق ، ٣- الفيستون

٤- المحمر ، ٥- المؤفر ، ٦- مسخن الهواء ، ٧- مروحة تدوير

الغازات ، ٨- امداد العوارض المبردة .

يتربّى على دفع الغازات إلى الجزء العلوي من الموقن (الشكل ١٩-٦) انخفاض درجة حرارة نواتج الاحتراق في منطقة المحمض ، بينما لا يتتأثر عمل الموقن بذلك ، وبالتالي تتحفّض درجة حرارة البخار المحمض .

تعتري اسلوب التحكم بتدوير الغازات عيوب عديدة منها وجوب وضع منشآت إضافية وانخفاض مردود المولد وال الحاجة إلى بذل طاقة إضافية لعمل المروحة .

٣- الحراقات الموجهة

وتسمح بتغيير نسبة الطاقة الحرارية المكتسبة اشعاعيا في سطوح المعاكس ، فعندما يوجه الجريان بزاوية صغيرة نحو الأسفل ، تزداد نسبة الحرارة المكتسبة اشعاعيا ، وتتحفّض درجة حرارة نواتج الاحتراق الخارج من الموقن ، ولهذا السبب في حالة الحمولة الكبيرة على المولد ؛ وعندما يزداد تحميص البخار \rightarrow ور الحراقات حول محاورها باتجاه الأسفل .

تلعب نوعية الوقود المستخدم دوراً أساسيا في اختيار اسلوب التحكم بدرجة حرارة البخار المحمض فاستخدام الحراقات الموجهة في حالة الوقود غير الخبيث يؤدي إلى ترسب الأخير على القمع البارد في أسفل الموقن وإلى زيادة الفياغات الحرارية الفيزيائية للخبث . كما تظهر امكانية ترسب الخبيث على سطوح البحر العلوية في حالة وجيهه نحو الأعلى .

٤-٦ سطوح التسخين ذات الحرارة المنخفضة

نشأ تقسيم سطوح التسخين إلى ذات الحرارة العالية والمنخفضة كنتيجة للاختلاف الأساسي في شروط عملها ، حيث تتعرض سطوح التسخين ذات الحرارة المنخفضة (المغفرات ، مسخنات الهواء) لظواهر معينة مثل الاكسدة المنخفضة الحرارة والاهتراء الجلخي .

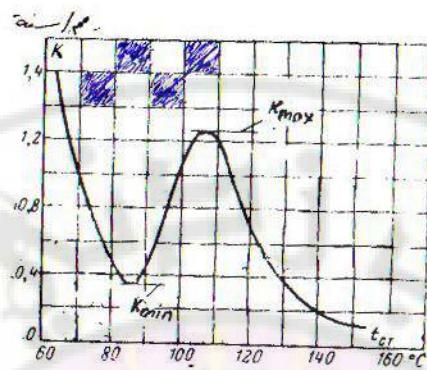
آ- تأثير الـ اكسدة المنخفضة الحرارة

تتكاثف أبخرة الماء الموجودة ضمن نواتج الاحتراق الغازية عند هبوط درجة الحرارة الأخيرة إلى مادون نقطة الندى ، وفي حالة احتواء نواتج الاحتراق على غاز بلا ماء حمض الكبريت 50°C تكتمل الشروط اللازمة لتشكيل حمض الكبريت ، تقع نقطة الندى في المجال الحراري $110 \div 150^{\circ}\text{C}$ ، ويؤدي تكاثف أبخرة حمض الكبريت على سطوح التسخين إلى اكسدة معدنها وخرابها خلال فترة قصيرة .

تعلق سرعة الـ اكسدة بدرجة حرارة المعدن المتـاكسـد ، الشكل ٢٠-٦ يعطينا مثلاً على تابع سرعة الـ اكسدة في السنة بالنسبة لدرجة حرارة المعدن ، والملاحظ أن سرعة الـ اكسدة (عند استخدام وقود المازوت) تكون أعظمية عند اقتراب درجة حرارة المعدن من نقطة الندى t_r وعند $t_m < t_r$ تهبط سرعة الـ اكسدة إلى قيمتها الدنيا K_{min} .

ب- الـ اهـتـرـاءـ الجـلـخـيـ

تنفذ جزيئات الرماد والوقود المحمولة مع غازات الاحتراق بسرعة كبيرة على سطح التسخين مما يؤدي إلى اهتراء السطح الخارجي للتسخين ، ويفقد سطح التسخين مما يقلل من سماكته .



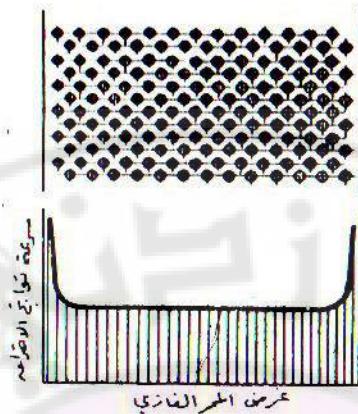
الشكل(٢٠-٦) تأثير درجة حرارة التسخين على سرعة الاكسدة K .

يحدث الاهتراء الجلخي بشكل غير متتجانس ضمن مقطع المجرى ، وتنبع كميته بالسرعة وبالتركيز الموضعي لجزيئات الرماد والوقود الخام ، وتأخذ سرعة الجزيئات قيمتها الاعظمية في اطراف المجرى (الشكل ٢١-٦) ، اما قيمة التركيز الموضعي لجزيئات الخام فتنبع بالشروط الايروديناميكية الموضعية ، الشكل ٢٢-٦ يبين تركيز الجزيئات الخام خلف الغرفة الانتقالية .

اختيار مخطط مسخن الهواء والموفر

يستهدف تصميم سطوح التسخين المتخفضة الحرارة تأمين التبادل الحراري الاعظمي في شروط الاستهلاك الاصغرى للمعدن وضمن حجوم مقبولة ، وتتضمن سطوح التسخين المتخفض الحرارة حسب المخطط احادي او ثنائيا المراحل .

في المخطط ذي المرحلة الواحدة يتوضع مسخن الهواء والموفر على



مخرج المراهازي

الشكل(٢١-٦) توزع سرعة نواتج الاحتراق في عرض الممر الغازي .

التالي عكس مسارات غاز الاحتراق (الشكل ٢٣-٦ ، ٥) وتتعدد درجة

حرارة الهواء المسخن بـ $250^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$ ، مما سبب التحديد

هذا فيعود الى ان ابخرة الماء الموجودة في غازات الاحتراق تبطئ

من هبوط درجة حرارة الاخيرة ، بينما يتسخن الهواء بسرعة اكبر

نظرًا لصغر سعته الحرارية بالمقارنة مع السعة الحرارية لغازات

الاحتراق المحتوية على ابخرة الماء ، من الشكل ٢٣-٦ يتضح

ان الضاغط الحراري الواقع بين الهواء وغازات الاحتراق يتناقص

ويصل الى قيمته الصغرى مع استمرار حركة الهواء المعاكسة لحركة

الغازات نحو مخرج المسخن ، بالنسبة للموفر يلاحظ المخطط المعاكس

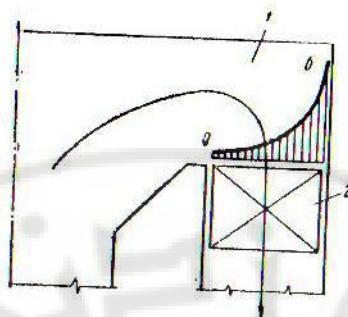
ويحافظ عند التصميم على قيمة للضاغط الحراري الاصغرى في مسخن

الهواء لا تقل عن $50^{\circ}\text{C} \div 70^{\circ}\text{C}$

لزيادة فعالية الاحتراق وتحفيض الضياعات الحرارية الكيميائية

يفضل لانواع معينة من الوقود رفع درجة حرارة الهواء الى قيم عالية

$450^{\circ}\text{C} \div 450^{\circ}\text{C}$ ، ولا يتحقق هذا الا باستخدام مخطط التسخين

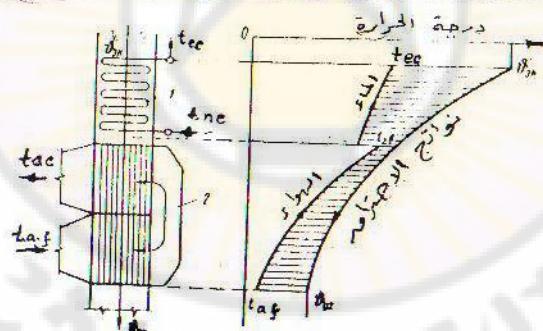


الشكل (٢٢-٦) توزع مجموعات جزيئات الرماد حسب

ضخامة حجمها خلف حجرة الالتفاف .

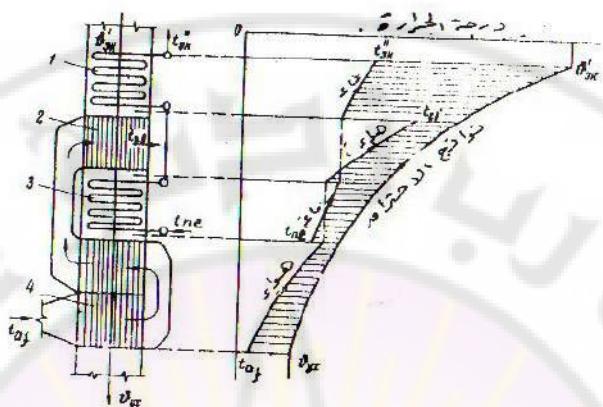
١- حجرة الالتفاف ، ٢- سطح التسخين الحولي .

ثنائي المراحل (الشكل ٢٤-٦) ، الذي يتوضع فيه الموفر بين مرحلتي تسخين الهواء ، والامر المميز في المخطط هو زيادة الضاغط الحراري في الطرف الساخن من مسخن الهواء ، حيث تنتقل المرحلة الثانية منه الى منطقة ذات حرارة اعلى . وتوضع مرحلة الموفر في المعدن المراحل الثانية او المنطقة الانتقالية في مولدات الجريان المباشر لحماية معدن المراحل الثانية لمسخن الهواء من درجات الحرارة العالية .



الشكل (٢٣-٦) توزع الجريانات الحرارية في حالة المخطط

حادي المراحل للسطح منخفضة الحرارة ١- الموفر ٢- مسخن الهواء



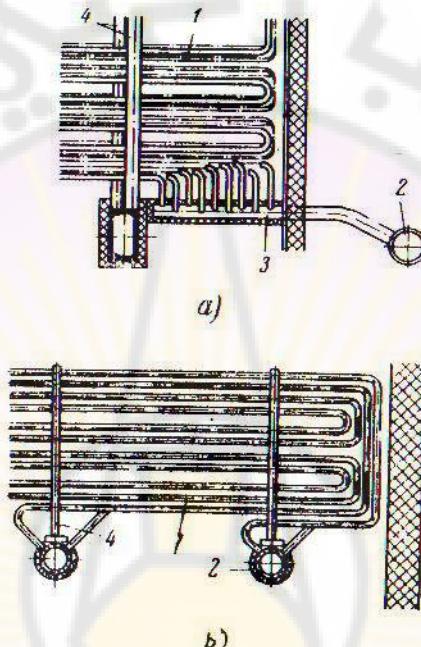
الشكل (٢٤-٦) توزيع الحرسيات الحرارية في المخطط الثنائي المراحل لسطوح التسخين منخفضة الحرارة . ١ او ٣ - مراحل الموفر الشاسية والابواب، ٢ و ٤ - مراحل محسن الهواء الثانية والابواب.

تصميم الموفرات

تستخدم الانابيب الفولاذية الافعوية الاقمية بكثرة في تصميم الموفرات ، وتستعمل لكافة الضغوط . تستخدم الموفرات المصنعة من حديد الصب في حالات استخدام المياه قليلة التقاويم من الغازات . يتميز حديد الصب بمقاومته للاكسدة ويعمل عند درجات الحرارة الواقعية دون نقطة الت凍د .

يتتألف الموفرات الفولاذية من انابيب اقطارها الداخلية صغيرة ($46 \div 30 \text{ mm}$) ساكنتها $3,5 \pm 2,5 \text{ mm}$ ، وتتصل هذه الانابيب في نهاياتها مع المجمعين الداخلي والخارجي ، الواقعين خارج الوسط الغازي ، وللتخفيف من تسرب الهواء لداخل المولد تتجمع

الأنابيب في عدد من الأنابيب الأخرى الموحدة (الشكل ٢٥-٦) ،
التي تتصل بدورها مع الأنابيب المجمع الأساسية ، في حالات أخرى توضع
المجموعات ضمن القنال الفاري حاملة الموفر بأن واحد (الشكل ٢٥-٦)



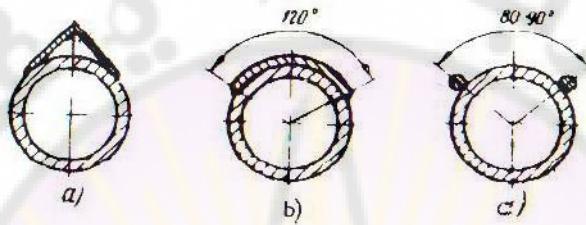
الشكل (٢٥-٦) طرق توصيل الأنابيب الحلوانية للموفر ،

- ١ - من خلال أنابيب تجميفية وسطية ؟
- ٢ - بوضع المجمع ضمن ممر الغازات ،
- ٣ - الأنابيب الحلوانية ، (٢) المجمع ، (٣) أنابيب التجميف الوسطية ، (٤) التصميم الحامل للأنابيب .

تتصل الأنابيب مع المجمعين بالالتحام ، ويفضل توضيعها حسب الترتيب الشطري نظراً لافضليته تجاه الترتيب الكوريدوري الذي يتطلب معدناً أكثر ومحلاً أكبر .

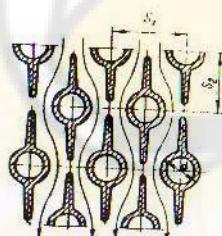
لحماية الانابيب من الاهتراء الجلخي تغطى بالزوايا او بالقطاعات الانبوبية او بالقضبان وذلك في مواقع الاهتراء المحتمل (الشكل ٢٦-٦)

• (٥ ، ٦ ، ٧)



الشكل (٢٦-٦) طرق حماية سطح التسخين الحولي من الاهتراء الجلخي في حالة الجريان المعاكس لمحاور الانابيب .

في السنوات الأخيرة انتشرت تصميمات الموفرات ذات الانابيب المجتحة التي تزيد من سطوح التبادل الحراري (الشكل ٢٧-٦) .



الشكل (٢٧-٦) سطوح التسخين ذات الانابيب المجتحة .

تصميم مسخنات الهواء

من حيث طريقة عملها تقسم الى سوعين هما : المسخنات الفاصلية

والمكبات الاسترجاعية ، في النوع الأول يمر وسطا التبادل الحراري اي الهواء ، وغازات الاحتراق عبر مرات منفصلة؛ وفي النوع الثاني يلامس الهواء وغازات الاحتراق على التناوب نفس السطوح التي تخزن الطاقة الحرارية عند مرور الغازات ، ثم تقدمها للهواء عند مروره خلالهما .

١- المكبات الفاصلة

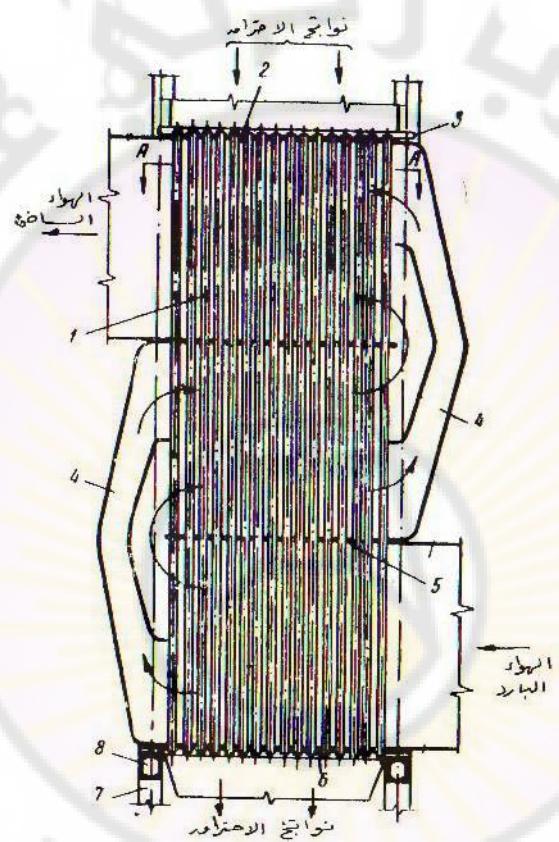
ويعتبر المكبات الانبوبية اكثر تماذجها انتشارا (الشكل ٢٨-٦) ويتفق من الانابيب فولاذية مع اقطار خارجية $40 \text{ mm} \div 30$ بسمكية $1,2 \div 1,5 \text{ mm}$ ، تتوضع الانابيب ساقوليا وتلتسم نهاياتها مع اللوحات الانبوبية ٢ ، ٦ وترتبط شترنجيا ، وتؤخذ سماكات اللوحة الانبوبية العلوية $20 \div 15$ والسفلى $25 \div 25 \text{ mm}$. تمر غازات الاحتراق من خلال الانابيب (طولانيا) بينما يمر الهواء عرضيا ملامسا السطوح الخارجية لها . وتنظم الحركة المتضادة لوسطي التبادل الحراري بمساعدة عوارض افقية ٥ وبذلك يقوم الهواء بعدة مشاورير عرضية (على الشكل ثلاثة مشاورير) وتساعد في توجيهه

٤ - هذا العلب

يستند مكبة الهواء على هيكل مولد البخار ٧ بمساعدة الاطار ٨ وتشتمد جملة الانابيب نحو الاعلى بحرية ، ويقوم المعرض المرن ٣ (الشكل ٢٩-٦) بتقبيل التمدد الحراري .

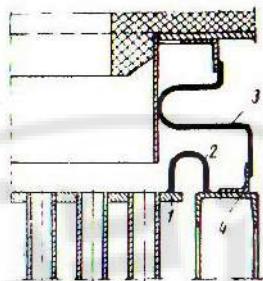
الشكل الاخير يبين التوصيل المرن بين ممر الغازات ولوحة الانبوبية العلوية للمكبة .

♦ تتميز المكبات الانبوبية ببساطتها التصميمية وشوعيتها في



الشكل (٢٨٦) مسكن الهواء الانبوبى .

في العمل ، هذا بالإضافة إلى أنها تحول دون اختلاط الغازات مع الهواء وتحمّل تسرّبها .



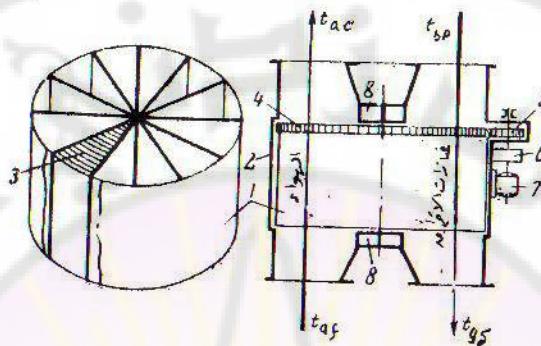
الشكل (٢٩-٦) التوصيل المرن لمسخن الهواء.

- ١- الملوحة الانبوبية ، ٣- التوابيت المغيرة ، ٤- عارضة متصلة مع هيكل المولد .

٢- مسخنات الهواء الاسترجاعية

تعتبر مسخنات الهواء الدوار اكثـر النـماذج الاسترجاعية انتشارا في محطـات الطـاقة الكـهربـائية ، وتألف (الشـكل ٣٠-٦) من الدوار **٥** الذي يدور بمساعدة المسخنات **٤ ، ٥** وممحـول السـرعة **٦** والمـحرك الكـهربـائي **٧** ، يحيـط الدوار من الخارج بالـغلاف الثـابت **٢** ، ويحتـوي الاخير على افـنية خـاصـة لـادخـال وـاخـراج الهـواء وـغـازـات الـاحتـراق ، تـتـحرـك الاخـير بـاتـجـاهـات مـتـعـاكـسـة ، يـقـسم الدوار بـراـسـطة الواـحـ مـعدـنـية مـسـطـوـة إلـى عـدـة قـطـاعـات . وـتـمـلاـء هـذـه القـطـاعـات بالـحـشـوة التـي هـي عـبـارـة عن اقـسـيـة صـغـيرـة (اقطـارـها المـكافـعـة $deq = 4 \div 5 \text{ mm}$) مـؤـلـفة من الواـحـ مـعدـنـية مـسـطـوـة وـاخـرى مـمـوجـة . يـدور المـحـور بـسـرـعـة $2 \div 6$ دـورـة/ دقـيقـة حـول المـحـور الشـاقـرـلي ، وـيـمـرـ الهـواء وـالـفـارـات عـلـى اـحـد جـزـئـيـ الدـوار ، فـتـكـتب حـشوـة الطـاقـة الـحرـارـية عـنـد مـلـامـسـتها لـلـفـارـات ، وـتـعود فـتـقـدمـهـا للـهـواء عـنـد مـلـامـسـتها لـهـا .

وهكذا تلعب الحشوة دور المدخل الحراري ، ويطلب منها أن تتتسخ بالغازات بسرعة كبيرة وان تتبرد ايضاً بنفس السرعة .



الشكل (٣٠-٦) مسخن الهواء الاسترجاعي.

- ١- الدوار ، ٢- هيكل ثابت ، ٣- الحشوة ، ٤- المسنن الكبير ، ٥- المسنن الصغير (المقاد) ، ٦- مخفض السرعة
- ٧- محرك كهربائي ، ٨- الواح فصل الجريان الهوائي عن

مثيله الغازي .

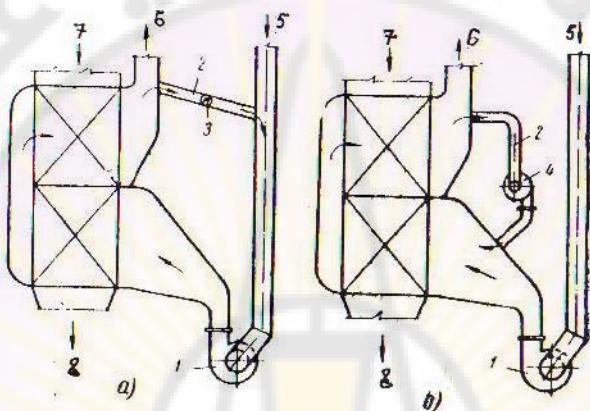
تتميز المسخنات الاسترجاعية بعدد من المميزات منها صغر الحجم ، التوفير في المعدن ، صفر مقاومتها الهيدروليكية ، اما عيوبها

فهي كالتالي : وجود الاجراء الدوارة التي تتطلب وجود الموضع وجملة التبريد المائي ، صعوبة منع تسرب الهواء الى الغازات حيث يتتسرب الهواء الى الغازات بنسبة قد تصل الى 10 % مما يزيد في الضياعات مع غازات الاحتراق ، واصم عيوب المسخنات المذكورة هو صعوبة تسخين الهواء الى ما فوق ٣٨٥ °C

بسبب تعرض الحشوة للتشوه والتخريب .

نعلم
١٩٤

للحماية معدن مسخن الهواء من الاكسدة تستخدم طرق عديدة منها
رفع درجة الحرارة العاملة للمعدن الى ما فوق نقطة الندى، وهناك
طريقة اخرى تعتمد على تسخين الهواء الوارد الى المسخن عن طريق
اعادة جزء منه الى مروحة التهوية او بتدوير جزء منه بمساعدة
مروحة خاصة (الشكل ٣١-٦ ، ٥) .



الشكل (٣١-٦) تدوير الهواء

- ٩ - بمساعدة السدادة الناظمة ، ٦ - بمساعدة مروحة التدوير ،
- ١ - مروحة التهوية ، ٢ - قنال تدوير الهواء ، ٣ - السدادة
- الناظمة ، ٤ - مروحة التدوير ، ٥ - مدخل و مخرج الهواء ،
- و ٨ - مدخل و مخرج غازات الاحتراق .

أعداد المياه والنظام المائي لمولد البخار

١-٢ مواصفات الماء وتأثير الشوائب المتخلطة والمعلقة

* تعتبر مسألة اعداد المياه من اكثـر المهمـات اثـراً عـلـى عمل مـولـدـ الـبـخـارـ وـاـسـتـشـمـارـهـ الصـحـيـحـ الرـشـيدـ؛ـوـالـعـرـفـ انـ الـمـيـاهـ الطـبـيـعـيـةـ تـحـتـويـ عـلـىـ الغـازـاتـ وـالـأـمـلـاحـ وـالـشـوـابـ المـيـكـاتـيـكـيـةـ وـالـغـرـوـيـةـ ،ـ وـيـقـضـيـ الـاسـتـشـمـارـ الصـحـيـحـ لـمـولـدـ الـبـخـارـ تـغـذـيـتـهـ بـالـمـيـاهـ الـخـالـيـةـ تـقـرـيـباـ مـنـ الـمـوـادـ وـالـأـمـلـاحـ الـتـيـ تـشـكـلـ خـطـرـاـ عـلـىـ عـمـلـهـ .ـ

* في اغلب المخططات يعود البخار المنتج بعد قيامه بعملـيـةـ لـدىـ الـمـسـتـهـلـكـ عـلـىـ شـكـلـ مـيـاهـ تـكـنـيـفـيـةـ ،ـ وـيـكـونـ عـادـةـ التـصـرـيفـ العـادـيـ اـقـلـ مـنـ التـصـرـيفـ الـمـنـتـجـ .ـ

* في منشآت المراجل الاستجاجية تحدث الفوائد لدى المستهلك بسبب اتساخ البخار المستخدم في العمليات التقنية ، ولا يبرر اقتصادياً إعادة معالجة المياه المتراكفة عن هذا البخار ، إما نسبة الفوائد فمتعلقة بظروف وشروط عمل المستهلك ، ويمكن ايراد بعض الأمثلة على

نسب الفوائد كما يلي :

صناعة بناء الالات ٢٠ % ، صناعات مواد البناء ٣٥ % ، الصناعة الكيميائية ٤٥ % ، تكرير البترول ٥٥ % ، هناك فوائد اخرى في الانابيب بسبب التسرب ٥٪، وفي مولد البحار ذاته بسبب الطرح المستمر للمياه زائدة الملوحة من الحلقة .

يجري تعويض فوائد المياه من مصدر جانبي (شبكة المياه المدينة) ، وتعالج مياه التعويض على الشكل الذي يتواافق مع متطلبات مولد البحار ويشكل خليط المياه التعويضية مع المياه التكتيفية العائدة تصريف مياه التغذية . لتقديم نوعية المياه ومدى صلاحيتها للاستخدام ، وايضا لتحديد عمليات المعالجة المطلوبة ونظام المعالجة تستخدم المؤشرات التالية :

١- الشفافية ، وتوصف وجود المحاليل الميكانيكية والغروية المعلقة ودرجة اتساخ المياه بالمواد الطلبة وتقدر بالميلغرام في كل لیتر mg/l

٢- الراسب الجاف ، وهو احد اهم المؤشرات ، الذي تحدد بموجبه صلاحية المياه لتغذية مولد البحار .

ويتعدد الراسب الجاف بتباين عينة مخبرية من المياه بدرجة حرارة $25^{\circ} \pm 10$ ويتضمن على المواد الغروية والمواد العضوية والاعضوية الذائية في الماء ، اما وحدة القياس فهي

mg/kg

٣- الملوحة وتوصف التركيز الاجمالي للشوارد الموجبة (Mg^{2+} ، Na^+ ، K^+ ، Cl^- ، SiO_4^{2-} ، SO_4^{2-} ، HCO_3^-) والشوارد السالبة (OH^-)

• وتحدد معدنية المياه ، mg/l

جــ قابلية المياه للاكسدة ، وتبين تركيب الشوائب العضوية

في الماء وتحسب بكمية الاوكسجين (mg/l) اللازمة للاكسدة

الشوائب العضوية الموجودة في واحد لتر من الماء *

هــ قساوة الماء ، وتعتبر من اهم المؤشرات المميزة لتنوعية

الماء ، وتعكس وجود املاح الكالسيوم والمغنتريوم (Ca^{2+})

(Mg^{2+}) ، ويفرق عادة بين القساوة الاجمالية J_o والكاربو

ناتية J_c واللاكاربوناتية J_{nc} وتحدد القساوة الاجمالية بالتركيز

الاجمالي لشوارد المغنتريوم والكالسيوم

$$J_o = J_c + J_{nc} \quad (1 - 7)$$

$$J_o = J_c + J_{nc} \quad (2 - 7)$$

ترتبط القساوة الكاربوناتية بوجود ثاني فحمات الكالسيوم و

المغنتريوم $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ، $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ وهي قساوة مؤقتة

غير ثابتة تفكك مركباتها بالغليان مطلقة غاز CO_2 ورواسب

صلبة هي Mg(OH)_2 و CaCO_3 . اما القساوة اللاكاربوناتية

فتعكس وجود كافة املاح الكالسيوم والمغنتريوم المتبقية (MgCl_2)

• CaSO_4 ، MgSO_4 ، CaCl_2 الخ

تنصف القساوة اللاكاربوناتية بالثبات فهي لا تتحلل بالغليان ولذلك

* تدعى بالقساوة الثابتة .

تقاس قساوة الماء بالمليغرام المكافئ في كل كيلوغرام من

الماء $\text{Mg} \cdot 29 / \text{kg}$ او بالميکروغرام - مكافئ في الكيلوغرام

$$(1\text{mg.eq} = 10^3 \mu\text{kg.eq}) \quad \mu\text{kg.eq} / \text{kg}$$

تصنف المياه الطبيعية من حيث الفساوة الاجمالية الى ثلاثة مجموعات:

١- المياه الخفيفة $J_o < 4 \text{ mg.eq/kg}$

٢- مياه متوسطة الفساوة $J_o = (4 \div 7) \text{ mg.eq/kg}$

٣- المياه القاسية $J_o \geq 7 \text{ mg.eq/kg}$

تقدر الفساوة بتقسيم كمية المادة C الموجودة kg واحد

ماء على الكتلة المكافئة :

$$J = \frac{C}{E}, \text{ mg.eq/kg} \quad (3-7)$$

وترتبط الكتلة المكافئة للمادة مع الكتلة الجريبية بالعلاقة التالية

$$E = \frac{\mu}{n}, \quad (4-7)$$

حيث :

μ - الكتلة الجريبية للمادة ،

n - تكافؤ المركب في تفاعل تحضير الماء ،

٦- القلوية ، وتعكس وجود شوارد الثاني فحمات HCO_3^- والفحمات

CO_3^{2-} والماءات OH^- ، تقادس كمية القلوية بوحدة

Mg.eq/kg

٧- تركيز الفارات الذواقة في الماء، وتقادس بوحدة Mg/kg ،

نتيجة لعمل مولد البخار المتواصل تنتقل الاملاح والشوائب الضارة

الى الحلة ، حيث يتزايد تركيز الاملاح في المياه المرجلية كما ،

ويترسب قسم من الاملاح على السطوح الداخلية لانابيب المعاكس مشكلة .
 بذلك اخطاراً كبيرة تتمثل في زيادة تسخين انابيب المعاكس وزيادة
امكانية تفجرها ، هذا بالإضافة إلى انخفاض مولد البخار
لضعف الانتقال الحراري .

وتعتبر املاح الكلسيوم والمعتنزيوم المصدر الاساسي لتشكل الطبقة
الترسيبة الطلبة داخل الانابيب التي يكون التوصيل الحراري فيها
ضئيلاً بالمقارنة مع التوصيل الحراري للمعدن .

تكتسب الغازات O_2 ، CO_2 الذائية في الماء عند درجات
الحرارة العالية قابلية رائدة لاكسة المعدن ، ونتيجة لذلك تتناقص
سمككات الانابيب بسرعات كبيرة وبالتالي تتناقص مثانتها الميكانيكية .
تسخن قلوية الماء من شدة تفاعلات الاكسدة ، ولكن زيادة القلوية
ترغى الماء ، فتظهر امكانية نقل الرغوة من الحلة مع البخار الخارج
منها .

٢-٧ اسس معالجة المياه

مماثلة نستنتج وجوب مطابقة مواصفات مياه التغذية مع حاجات
مولد البخار ، و تختلف المواصفات المطلوبة تبعاً لنوع مولد
البخار وللضغط . المعمول به في المولد وتقسم عمليات المعالجة الى
قسمين : اوهما عمليات المعالجة المسبقة و تتضمن عدداً من الاجراءات
التي يحافظ بمرجبيها على معدلات نوعية مياه التغذية ، اما القسم
الثاني فيتضمن عمليات المعالجة ضمن الحلة التابعة لمولد البخار ،
واهم هذه العمليات اضافة بعض المواد الكيميائية التي تدخل في

تفاعلات كيميائية مع املاح مياه الحلة ، هذا بالإضافة الى الطرح المستمر والدوري للمياه زائدة الملوحة من الحلة .

تتضمن المعالجة المسقعة على عمليات الترويق (طرح المواد المعلقة) وتحفيض القساوة والقلوية والملوحة ، وكذلك الامر طرح الغازات الذائبة (CO_2) .

٢) طرح المواد المعلقة الخثمة بالترقيق ؛ والمواد الصفيرة

بالترشح خلال المرشحات التي تحتوي على طبقات رملية او طبقات من مجروش الرخام الناعم او فحم الانترنت ، لطرح المواد الغروية والغضوية المعلقة تعالج المياه بالمواد المختبرة ، اي المواد التي تساعد في تخفيض المواد المعلقة (املاح الحديد $FeSO_4$ او $FeCl_2$ او كبريتات الالومينيوم $Al_2(SO_4)_3$) . يتحدد

نظام معالجة المياه تبعاً لمواصفات المياه الطبيعية المزمع استخدامها في مولد البخار؛ وعند استخدام شبكة مياه الشرب تزول الحاجة لعمليات الترويق والتخثير .

٣) تستهدف عملية تحفيض القساوة تخليل المياه من الشوارد الموجبة Mg^{2+} ، Ca^{2+} ويتحقق ذلك بالطريقة الحرارية التي تعنى تفكك مركبات ثاني فحمسات الكالسيوم والمغنتيوم بالتسخين حتى $360 \pm 375^{\circ}C$ حالياً تستخدم بشكل مطلق تقريباً طريقة التبادل الشاري لتحفيض

القساوة .

١) تتلخص طريقة التبادل الشاري بما يلي : تمرر المياه التعويضية من خلال أجهزة خاصة تسمى المرشحات الشاردية ، التي تملأ بمواد تشارك في التبادل الشاري مع املاح القساوة وتسمى هذه المواد

(٤)

الكاتيونيت ويحتوي كاتيونيت المرشحات الشاردية على شوارد الصوديوم (Na^+) او الامونياك (NH_4^+) او الهيدروجين (H^+) .^٥ وتحل شوارد املاح القساوة في مكان شوارد الكاتيونيت وبهذا الشكل يتحمل الماء بшوارد الكاتيونيت مخلصاً^٦ معاً من شوارد املاح القساوة التي تحتجز في مادة الكاتيونيت والجدير بالذكر ان الشوارد المنتقاً الى الماء لا تشكل اي ترسيبات في المسرب المائي للبخار .

← تستخدم تبعاً لنوعية المياه الطبيعية طرق مختلفة للتتبادل الشاردي منها التبادل الصوديومي والامونيومي والهيدروجيني ، وقد يستخدم اسلوب التبادل الشاردي المركب الذي يتحقق بجمع المخططات المتوازية او المتسلسلة لاساليب التبادل المذكورة .
يعمل المرشح الشاردي خلال فترة زمنية معينة تعتني خلالها مادة الكاتيونيت بشوارد المغنيسيوم والكالسيوم ، وتضعف قابليته للتتبادل وتجري بعد ذلك عملية الاسترجاع على مادة الكاتيونيت التي تم بموجبها معالجته بمحلول مخفف من NaCl ، H_2SO_4 ، NH_4Cl .

* تؤثر الغازات O_2 ، CO_2 ، N_2 المنحللة في الماء على جدران الحلة والاسباب المعدنية مؤدية الى اكسدتها ، لهذا السبب تطرح الغازات من المياه بالطرق الحرارية المستمرة بكثرة ، وتعتمد هذه الطرق على انخفاض قابلية الغازات للانحلال في الماء مع ارتفاع درجة حرارته الى مستوى الاسباع ، ويشرط من اجل ذلك تحفيض الضغوط

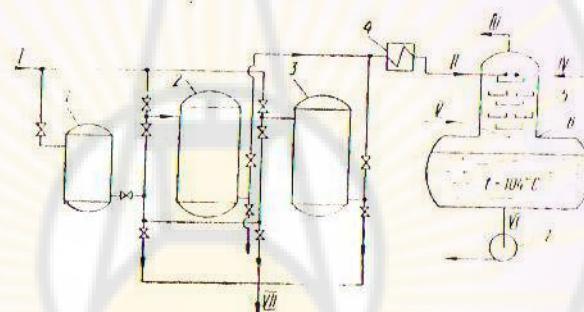
(٤)
رحلة

الخاصة للعقارات حتى ادى مستوي

في الشكل ١-٧ يبين مخطط اساسي لمنشأة اعداد المياه التي تتضمن المسادل الساردي وجهاز طرح الغازات .

سرد المياه التعويضية الى المرشح الساردي الصوديومي حيث يجري حجز النسبة الكبرى من الشوارد المتسببة في القساوة ، يحتوي المدخل على مرشحين سارديين يكون احدهما (٢ مثلا) في حالة العمل بينما يجري استرجاع الكاتيونيت في المرشح الآخر (٣) .

عمل المحلول المخفف للملح NaCl (٦ % \div ١٥ %) الى المرشح ٣ عن جهاز ادارة الملح ١ .



الشكل (١-٧) مخلط منشأة تحضير المياه.

- ١- جهاز تحضير محلول الملحي ، ٣٠،٢ ، المرشحات الشاردية ، ٤ - مياهلات حرارية ، ٥ - صنون مثقبة ، ٦ - طارحة الهواء ، ٧ - مضخة ، ٨ - مياه التغذية ، ٩ - مياه منخفضة القيمة ، ١٠ - طرح المزيج البخاري الغازي ، ١١ - المياه التكتيفية العائدة ، ١٢ - بخار التسخين .

ترد المياه فيما بعد إلى طارحة الهواء ٦ ، حيث يجري التخلص من الغازات المنحلة ، بتسخين الماء في البرج حتى درجة الاشعة الموقعة للمف慨 في الطارحة .

٣-٧ مصادر اتساخ البخار

يتسبخ البخار بالمواد الذائبة والمواد المعلقة بالماء ، وهناك طريقان لانتقال المواد من مياه الطرحة إلى البخار : أولهما قطرات الماء المحمولة مع البخار والتي تذيب الاملاح والمواد الغروية فيها ، والطريق الثاني هو انتقال المواد مع البخار بسبب خاصيته التذويبية ، تقدر نقاوة البخار بشكل عام بمعامل الحمل :

$$K = w + a \quad , \quad (8-7)$$

حيث :

w - رطوبة البخار التي تعكس احتواه على المواد المنتقلة مع قطرات الرطوبة ،

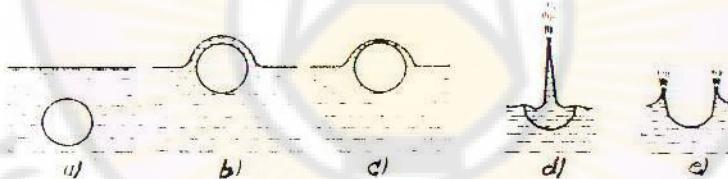
a - معامل توزيع المواد بين البخار المشبع والماء المغلي . في حالة الضغوط المغيرة تصبح قابلية التذويب للبخار صغيرة وعندئذ تكون $w = K$ ، ومع ازدياد الضغط تزداد قابلية البخار التذويبية ، وبصحب احتواه على المواد بسبب خاصيته التذويبية اكبر بعشرين المرات من احتواه بسبب قطرات الماء المحمولة ، وفي هذه الشروط تبسيط العلاقة (8-7) الى :

$$K = a$$

(a، ٨-٧)

طبيعة شكل قطرات الرطوبة

في حالة توصيل أنابيب البخار إلى مادون مستوى الماء في الحلة تطلق فقاعات البخار باتجاه مرآة البخار (الشكل ٢-٧) ، ويتعلق تطورها المسبق بقيمة الشد السطحي لشريحة الماء المحيطة بالفقاعة وبالضغط الداخلي ضمن الفقاعة ، وعندما يكون الشد السطحي أصغر من الضغط فإن الفقاعة تخرب شريحة الماء وتخرج إلى الوسط البخاري وسيؤدي ارتطام الماء بين طرفي الفجوة المتشكلة إلى انطلاق قطرات مائية ذات أبعاد مختلفة وتنطلق قطرات الرطوبة إلى الوسط البخاري وتصل إلى ارتفاعات مختلفة تبعاً لطاقتها الحركية وعندما يزيد ارتفاع الوسط البخاري عن ٤٠٠ mm تراجعاً كافة قطرات إلى مرآة البخار ولا تتمكن إلى أنابيب البخار .



الشكل (٢-٧) مخطط تشكل قطرات الماء في حالة ادخال الانابيب التبخيرية إلى الحيز المائي من الحلة .

a - مرحلة تشكيل الفقاعة ، b - المرحلة الابتدائية لخروج الفقاعة إلى مرآة البخار ، c - قبل تمرق الغلاف المائي ، d - تمرق الغلاف المائي وتشكل قطرات الماء .

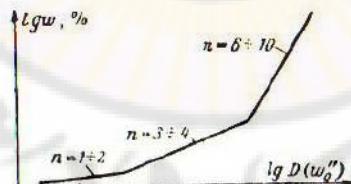
I

في حالة امداد المزير البحاري المائي في مستوى يعلو عن مرآة السحر تتشكل قطرات الماء نتيجة لرش الرطوبة الواردة مع البحار ، ويزداد تشكيل قطرات الماء مع ازدياد سرعة المزير البحاري المائي اي مع ازدياد حمولة مولد البحار ، وبغض النظر عن مصدر قطرات الماء في حالة الحمولة الصغيرة يحمل البحار قطرات الماء ذات الابعاد المغيرة ومع ازدياد التصريف تتضمن قطرات ذات الابعاد الاكبر ، ولهذا السبب مع ازدياد حمولة مولد البحار تزداد الرطوبة الخارجة من الحلة (الشكل ٣-٧) ، وتمثل رطوبة البحار بالعلاقة التقريبية التالية :

$$w = AD^n \quad (3-7)$$

وتنطلق قيم A و n بتنمية اجهزة فصل البحار وبالضغط وبنسبة الاملاح وبالتالي تركيب الشاردي للماء ، ويتغير الاس n بشدة مع تغير الحمولة وفي الاحداثيات اللوغاريتمية يأخذ منحنى رطوبة البحار شكلا متدرجا .

تتأثر رطوبة البحار بتركيز المواد الداشرة والمعلقة بالماء فمع ازدياد تركيز الاملاح يزداد الشد السطحي ، ويحتفظ الماء بالفقاعات البحارية ويستفح ممتلئا بكمية كبيرة من البحار ويختفي ارتفاع الحجم البحاري في الحلة .



الشكل (٣-٧) تابع رطوبة البحار بالنسبة لحمولة مولد البحار .

ونتيجة لانفجار فقاعات البخار على المرأة تتمكن نسبة عالية من
بارات الماء ~~الوصول الى اسباب خروج البخار~~ وبالتالي تؤدي الى اتساخه
سالملاح والمواد المعلقة

٤-٤ طبيعة اشحال المواد في البخار

يتميز عادة بين الاشحال في البخار المشبع والبخار المصحّن،
ويحدث انتقال التركيبات الغير طيارة من الماء الى البخار المشبع
نتيجة لقابلية التذوب في البخار ويستمر هذا الاجراء الى حين
حدوث التوازن الترموديناميكي بالتوافق مع قانون توزيع المواد
الداخنة بين مذيبين غير مختلطين ، ويعتبر الماء والبخار وسطين
مؤلفين من تركيب كيميائي واحد ولكنهما يختلفان بالكتافة وبصفات
العازلية الكهربائية ، اي بالصفات التي تحدد قابليتهمما للتذوبية
للمواد اللاعضوية .

يتتعلق معامل التوزيع بين الماء والبخار بالضغط (أي بالنسبة

م'/م'') وبالقوانين الفيزيائية الكيميائية للمواد الداخنة

وتمثل هذه النتيجة بالعلاقة التالية :

$$a = \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^n \quad (10 - 7)$$

حيث : n - اس الرفع ويتعلق بصفات المادة .

وتمثل العلاقة (٧ - ١٠) في الاحاديث اللوغاريتمية بالمعنخط

الأشعاعي (الشكل ٤-٧) مع مبدأ الاحاديث المتواافق مع الضغط

الحرج (للماء $b_{ar} = 228.58$) ومعامل التوزيع $a = 1$

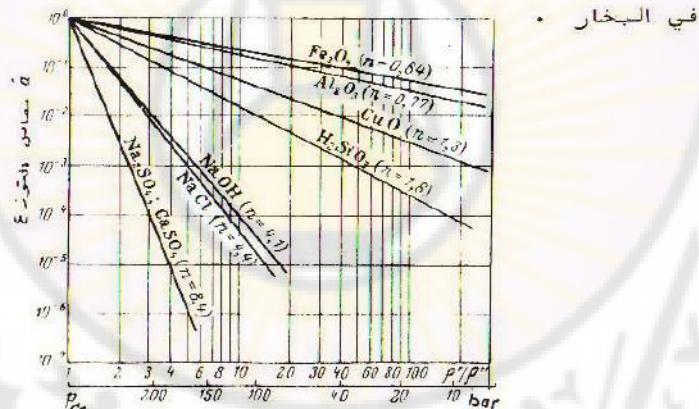
تتمير اسحلالية المواد في البحار بما يلي :

١- الطابع الاستعماري الواضح لاتساح البحار ، فتوزيع المركبات المختلفة لتنفس العنصر بين الماء والبحار متتنوع الى حد بعيد ، ويتوافق مع قانون التوزيع .

٢- الارتفاع الشديد لقابلية البخار على حمل الاملاح مع ارتفاع الضغط تقسم كافة المركبات الموجودة في الماء من حيث اتحللتها في البخار الى ثلاثة مجموعات ؟ في الاولى $1 < n$ ، وفي الثانية $n = 1/2$ ، وفي الثالثة $n > 3$ (الشكل ٤٧) وتنتمي المجموعتان الاولى والثانية بقابليتها الكبيرة للانحلال في البخار وهي في الاساس شوافع الاكسدة



التي هي ضعيفة الانحلال في الماء ، ولهذه السبب تتراوح متبقي صغيره في البخار ايضا ، ويحمل حمض السيليسيوم H_2SiO_3 اهمية خاصة نظرا لوجوده بنسبيه عاليه في الماء وقابليته العالية للانحلال في البخار .

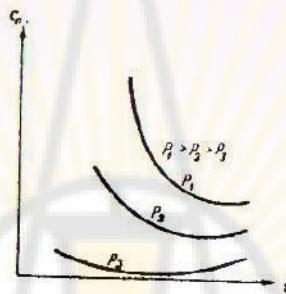


الشكل (٤٧) تابع معامل التوزع بالنسبة للمنحول 'م/غر' لمختلف

المواد .

تسخى قطرات الماء المحمولة مع البخار المشبع في المحمص ويتبقى قسم من المواد المترسبة ضمن انساب المحمص ، بينما يحمل القسم الآخر إلى العنفة البخارية ، ويحمل البخار المحمص قسمًا من الترسبات نتيجة لتماسه معها .

وتقسم المواد من حيث قابليتها للانحلال في البخار المحمص إلى ثلاثة مجموعات كما هو الحال مع البخار المشبع ، وترتبط قابلية التذوب في البخار المحمص بدرجة حرارته وضغطه (الشكل ٥-٧) .



الشكل (٥-٧) انحلالية NaCl في البخار المحمص

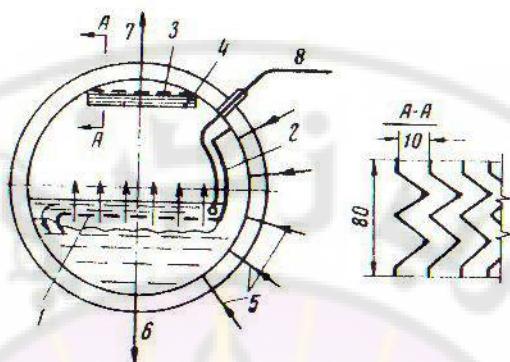
٥-٧ طرق تنقية البخار

فصل قطرات الرطوبة من البخار

للحصول على البخار النقي يتوجب أولاً تجفيفه بشكل كامل ، أي فصل قطرات الرطوبة عن تيار البخار ، ويعتمد فصل البخار على الفارق بين كثافات الماء والبخار ، وببسط مثال على ذلك هو الفصل الحجمي ، حيث تتأثر قطرات الرطوبة في البحير البخاري من الحركة بقوىين متضادتين بالاتجاه : أولاًهما قوة الرفع وثانيهما قوة الثقل

و الواضح انه مع انخفاض قوة الرفع يزداد احتمال سقوط قطرات
باتجاه مراة البحر ولهذا السبب يتوجب تحميل الحيز البحارى من
الحطة بشكل متساو بالطول والعرض ويتحقق هذا الامر بتوزيع اثوابيب
خروج البحار على طول الحطة وبوجود اجهزة الفصل .
لابحقق الفصل الحجمي الاهداف المرجوة في الحصول على البحار
ذى النقاوة العالية، ولهذا السبب تضاف اجهزة الفصل الإضافية، وتعتبر
الترسos المثبتة اكثر هذه الاجهزة بساطة في التصميم وفعالية في
العمل وهي عبارة عن صنائع فولاذية مثبتة، في الشكل ٦-٧ يستخدم
الترس **المثبت المغمور في الماء** ، كما ويستخدم ترس آخر بدون ثقوب
يقوم باخمام الطاقة الحركية للجريان البحارى المائي المندفع من
اثوابيب البحر ، ويقوم الترس المغمور باخمام الطاقة الحركية للمزيج
البحارى المائي ضمن الحيز المائي ، وسيجري اختيار سرعة البحار المار
عبر الثقوب انطلاقا من شروط تشكل وسادة بخارية **اسفل** الترس تضمن
التوزع المتساوي للبحار وتعلق سرعة البحار بالضغط حيث تتناهى السرعة
مع تزايد الضغط (الشكل ٦-٨) .

في حالة امداد المزيرج البخاري المائي الى الحيز البخاري من 
الحطة تستخدم التروس الصدامية الافرادية او المسترقة (الشكل ٨-٢) التي تقوم بطبع الجريان واحماد طاقته الحركية ، وبالتالي تساعد في فصل البخار عن قطرات الماء المصغيرة دون ان يمرر ضمن الحيز المائي ، وفي مثل هذه الاحوال تسهل الشروط المتعلقة بتنوعية مياه الحطة .



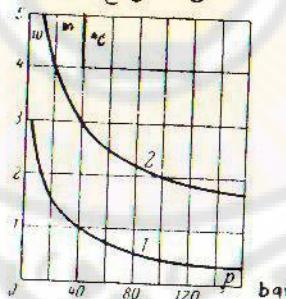
الشكل (٦-٧) مخطط اجهزة الفصل في حالة امداد المزيرج

البخاري المائي الى الحيز المائي من الحلة .

- ١- ترس مثقب مغمور ، ٢- ترس مصمم ، ٣- سقف استقبال البخار ، ٤- جهاز الفصل ذي الشرائح المائية ، ٥- انابيب البخار ، ٦- الانابيب الهابطة ، ٧- خروج البخار ، ٨- امداد مياه التغذية .

في كافة مخططات دخول انابيب البخار الى الحلة تستخدم اجهزة الفصل

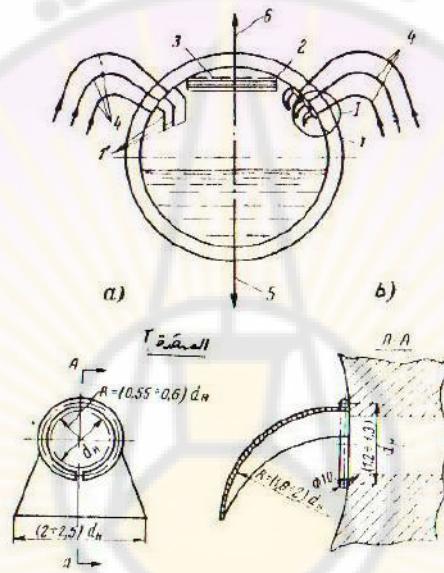
الميكانيكية التي تتالف من الواح معدنية مموجة (الشكل ٦-٧) ،



الشكل (٧-٢) سرعة البخار في شقوب التروس تبعاً للمضطط .

- ١- السرعة الدنيا ، ٢- المفسدة .

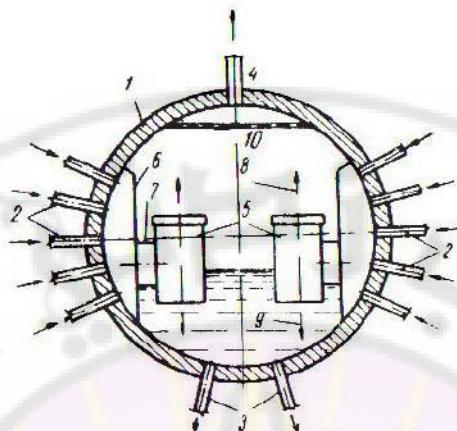
تشكل فيما بينها ممرات متعرجة تساعد في التقاط قطرات الماء
المجالط للبخار الذي يتتابع طريقه إلى المخرج .
هناك طرق فعالة أخرى لتجفيف البخار مثل اجهزة الفصل الدوامية
الداخلية (الشكل ٩-٧) ،



الشكل(٨-٧) مخطط اجهزة الفصل في حالة امداد البخار
إلى الحيز البخاري من الطرة .

a - مع تروس مخمدة مستركدة ، b - مع تروس مخدمة
افرادية ، ١- الرعنفة المخدمة ، ٢- جهاز الفصل الشرايعي
٣- سقف استقبال البخار ، ٤- أنابيب البحر ، ٥- الانابيب
الهابطة ، ٦- حروم البحر .

* ويتألف جهاز الفصل الدوامي الداخلي (الشكل ١٠-٧) من علاف اسطواني

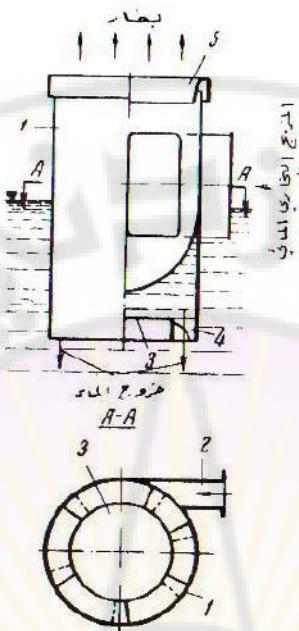


الشكل (٩-٧) مخطط فصل البخار في الدوامات الداخلية .

- الحلة ،
- انبابيب البخار ،
- الانبابيب الهابطة ،
- انبابيب خروج البخار ،
- الدوامات الداخلية ،
- ترس مصممت ،
- الفنال المماسى لادخال المزبوج البخاري المائي
- خروج البخار الى الحيز البخاري ،
- خروج المياه ،
- سقف استقبال البخار .

شاقولي يرد اليه المزبوج البخاري المائي ساتجاه مماسى بسرعة m/sec 12 ± 10 ، فتخدم الطاقة الحركية للجريان وتسيل المياه الى الاسفل بينما يصعد البخار الجاف بسرعة صغيرة الى الحيز البخاري من الحلة ، ويشكل قعر الدوامة مع الاسطوانة مخرجا طقبيا للمياه تتواجد فيه الرعائفة القطرية التي تحول حركة المياه الدورانية الى حركة شاقولية نحو الاسفل .

نتيجة لنشوء القوى النابدة الكبيرة في الدوامات . تندم امكانية تشكيل الرغوة ، وذلك حتى في المياه ذات الملوحة العالية ، ولهذا السبب تستخدم اجهزة الفصل الدوامية الداخلية بشكل واسع لتجفيف البخار الناتج من المياه ،الية الملوحة .

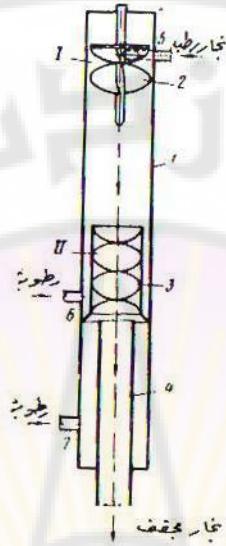


الشكل (١٠-٧) الدوامة الداخلية .

- ١- غلاف اسطواني ، ٢- القنطرة الداخلي ، ٣- قعر
- مصمم ، ٤- زعانف ، ٥- غطاء .

الفاصل النابدي : يستعمل في مولدات البخار ذات الجريان المباشر

وهو عبارة عن أنبوب مجمع مع مرحلتين للفصل (الشكل ١١-٧) ،
يدخل المزيج البخاري المائي باتجاه مماسي دوراني إلى المرحلة
الأولى فيمرر من خلال جهاز توجيه نطاقي يكتسب فيه حركة خطوية
دورانية ، فتتجمع قطرات الماء بفعل القوى النابدة على سطح
الأنبوب ، وترجع عبر حجرة التجمع إلى أنبوب الطرح ، في المرحلة
الثانية يتعرض البخار المجفف جزئياً لعملية مماثلة كما هو الحال
في المرحلة الأولى .



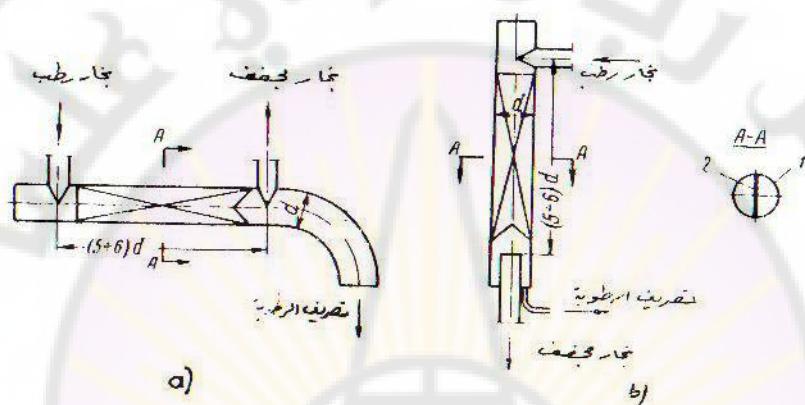
الشكل (١١-٢) جهاز الفصل النابدي .

- ١- الغلاف ، ٣٠٢ - زعناف توجيه المزج في مرحلتي الفصل الاولى والثانية ، ٤- حجرة خروج البخار ، ٥ - انبوب دخول المزج ، ٧٠٦ - طرح الرطوبة من مرحلتي الفصل .

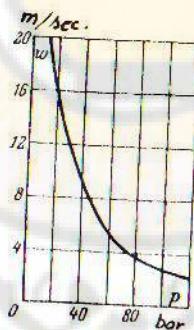
الفاصل الشرائحي: ويعمل بأسلوب تمرير البحار الرابط عبر ممرات تقوم بالتقاط النسبة الكبرى من كتلة الرطوبة بينما يمر البحار في المجرى من الممرات (الانابيب) .

على الشكل ١٢-٧ تظهر مخططات الفاصل الشرائي الافقى ومتيله الشاقولي ، يه طي النوع الاخير المتناظر بخارا اكثرا جفافا بالمقارنة مع النوع الاول وعادة يستخدم النوع الافقى كمرحلة اولى للفصل ، بينما يستعمل النوع الشاقولي كمرحلة ثانية للتجفيف . لزيادة فعالية الفصل يحافظ على سرعات متذبذبة لحركة البخار حتى

لا تستطاع قطرات الماء مع الجريان البخاري ، وتنتعلق سرعة البخار
الحادية بالضغط (الشكل ١٣-٧)



الشكل (١٣-٧) الفاصل الشرائحي .
٢ - النوع الافقى ، ٦ - الشاقولي ، ١ - الغلاف ، ٤ - حاجز طولي



الشكل (١٣-٧) سرعة البخار الموافقة لانطلاق

قطرات الماء من سطح السريحة المائية تبعاً للضغط .

غسيل البخار

يتصف البخار الجاف ذي الضغط العالي باتساحه بمواد عديدة نظرًا لقدرته على تذويب هذه المواد ويساعد غسيل البخار في تخلصه من المواد المرافقه .

اما عملية الغسيل فتبينها فيما يلي : لفترض ان ملوحة مياه

الحلاة هي C_{ee} وينتج عنها بخار مع تركيز للاملاح فيه $C_{v,e}$

وتبعاً لخاصية تذويب المادة في البخار المتعلقة بالضغط فقط نكتب

معامل التوزيع $a_1 = C_{v,e} / C_{ee}$ ، وبتمرير البخار خلال

مياه التغذية ذات الملوحة المنخفضة C_{ne} يكتسب البخار

تركيز جديداً يتوافق مع معامل التوزيع $a_2 = C_{ne} / C_{v,e}$ ، ونطر ادا

اجراء تشكل البخار وغسله يحدث . من اجل ضغط واحد فسان

$a_1 = a_2$ ، وبما ان $C_{ee} > C_{ne}$ فان $C_{v,e} < C_{ne}$

ومن هنا شری ان نوعية البخار المتعلقة بالماء الذي يمس البخار قبل

خروجه على وجه التحديد . ولهذا السبب للحصول على فعالية عالية للغسيل

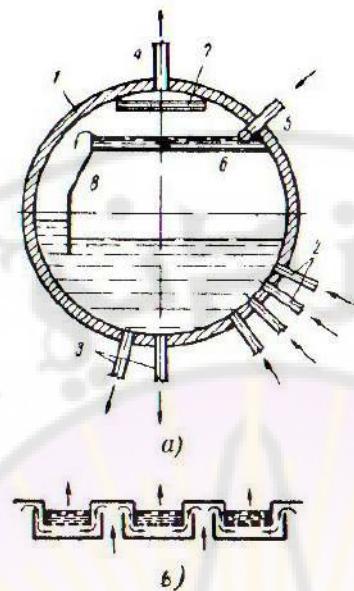
يتوجب زيادة فترة التماس بين البخار والماء النظيف ، ولتحقيق

هذا الهدف يمرر البخار من خلال ترس متعدد بينما ترد اليه مياه

التغذية (الشكل ١٤-٧) من انبوب خاص فتغسل شوافیل البخار؛ ولا

يمكن الماء من الهبوط نحو الاسفل بسبب الشكل الهندسي للترس او

بسبب شوافیل البخار المساعدة بحد ذاتها .



الشكل (١٤-٢) مخطط غسيل البخار في الحطة،

- ١- باستخدام الترس المثقب ، ٦- باستخدام الاخواض الماء
- ٢- انسابيب البحر ، ٣- الانسابيب الماء ،
- ٤- انسابيب خروج البخار ، ٥- امداد مياه التغذية ، ٧- الترس
- المثقب ، ٨- جهاز الفصل الشائحي .

٦-٢ النظام المائي لمولد البخار

١- مولدات البخار ذات الحطة

آ- طرح المياه زائدة الملوحة

تعتبر عملية طرح المياه زائدة الملوحة من الحطة عنصرا

اساسيا في تنظيم حالة الماء في مولد البخار ذي الحطة ، ويتم

بمساعدة هذه العملية التخلص من المواد الذائبة والمعلقة الاتية

مع مياه التغذية والمحشكة في الحطة ذاتها .

يمكن وضع ميرانية الاملاح لابسط مخطط للنظام المائي (الشكل

١٥-٧) على الشكل التالي :

$$C_{se} + p C_{ge} = (1 + p) C_{ne} \quad , \quad (11-7)$$

ومنه نحصل على ما يلي :

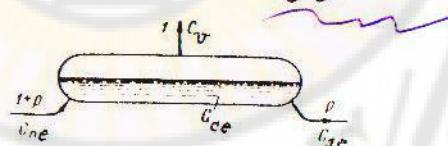
$$C_{ge} = C_{ne} = \frac{(1 + p) C_{ne} - C_{se}}{p} \quad , \quad (12-7)$$

وبعد اهمال ملوحة البخار $C_{se} = 0$ وبالتعويض على سبيل المثال

$p = 1\%$ نحصل على ما يلي :

$$C_{ge} = \frac{(1 + 0,01) C_{ne}}{0,01} = 101 C_{ne}$$

العلاقة الاخيرة تبين انه في شروط المثال نحصل على بخار من مياه مرجلية تزيد ملوحتها بنسبة ١٠١ عن ملوحة مياه التغذية، ويمكن تحسين نوعية البخار بزيادة نسبة المياه المطرودة ولكن هذا الامر يزيد من الضياعات الحرارية .



الشكل ١٥-٧) النظام المائي البسط للموليد ذي الحلة .
 C_{se} ، C_{ge} ، C_{ne} ، $1+p$ ، p - تركيز المواد في مياه التغذية والمياه المرجلية والمياه زائدة الملوحة وفي البخار ، $\% -$ نسبة الطرح من مياه الحلة .

ب - البخار التدرجي

ويعتبر أكثر كمالاً من البخار حسب النظام البسيط وفيه تقسم الحلة إلى قسمين يتصل كل منهما مع أسباب إطار الدوران الخاص به ، وتدور المياه فيهما . ويتمثل قسم الحلة بثقب موجود في الحاجز الموجود بينهما ، ويرتفع الحاجز الفاصل فوق مستوى الماء قليلاً مشكلاً شافدة لانتقال البخار بين القسمين ، ترد مياه التغذية إلى القسم الأول الأكبر ، ويحدث طرح المياه زائدة الملوحة من القسم الثاني الصغير وبهذا الشكل يتغذى القسم الثاني بالمياه من القسم الأول من خلال الثقب .

يحتوي مخطط البخار الوارد على الشكل ١٦-٧ على مرحلتين للبخار

وعلى افتراض أن إنتاجية الأولى هي $n_1 = 80\%$ والثانية

$n_2 = 20\%$ فتحصل على التركيزات التالية للمياه المرجلية :

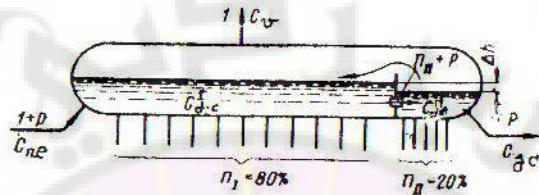
في المرحلة الأولى :

$$C_{ce}^I = \frac{[0,8 + (n_2 + p)] C_{ne}}{n_2 + p} = \\ = \frac{(0,8 + 0,2 + 0,01)}{0,2 + 0,01} = 4,8 C_{ne}$$

وفي المرحلة الثانية :

$$C_{ce}^{II} = \frac{(n_2 + p) C_{ne}^I}{p} = \\ = \frac{(0,2 + 0,01) \cdot 4,8 C_{ne}}{0,01} = 101 C_{ne}$$

من المثال السابق نرى بوضوح أهمية البخار التدريجي في تحسين نوعية البخار حيث يتولد القسم الأكبر من البخار من المياه ذات النقاوة العالية نسبياً (٨٠ % في المثال) .



الشكل (١٦-٧) مخطط البخار المتدرج ذات المراحلتين.
 $n_1 = 70$ ، $n_2 = 20$ - النسب المئوية للانتاجية في المرحلة الاولى
 والثانية .

ج - النظام المائي عديم الترسيب

تتعدى مولدات البخار ذات الحلة عادة بالمياه الخفيفة اي تلك التي تحتوي على التركيبات الكيميائية شديدة الانحلال ، وهي بشكل اساسي املاح الصوديوم ، انطلاقاً من شروط منع تشكيل التربات على سطوح التسخين البخارية يسمح بأن يرتفع تركيز هذه الاملاح في المياه المرحلية حتى مستويات عالية (عدة عشرات الغرامات لكل كغ ماء) ، ولكن بالاعتماد على شروط الحصول على البخار ذات النوعية المقبولة يجب أن لا يزيد تركيز الاملاح الاجمالي في البخار عن $9/20$ وبالنتيجة نرى أن تركيز الاملاح عالية الانحلال في الماء لا يشكل خطراً على سطوح التسخين الا في حالات خروج الجريان عن النظام الهيدروديناميكي (توقف الدوران ، انخفاض مضاعف الدوران دون الحدود

الدنيا) حيث يمكن عندئذ ترسب الاملاح وزيادة درجة حرارة المعدن *

* تتسرب الى دورات محطات الطاقة كميات من المياه الحاملة لاملاح الكالسيوم والمغنتيوم والتي تتصرف بضعف اشغالها في الماء (ميليفرام او اعشار الميليفرام في الكيلوغرام) وفي الحطة تتركز هذه الاملاح وترسب على سطوح التسخين او تتشكل بالدورات صلبة ضمن مياه الحطة وتطرح هذه الباللورات بمساعدة الطرح المتواصل لجزء من مياه الحطة اما الجزء الاكثر خلافاً من هذه الباللورات الذي يتجمع في اسفل الحطة او في الاسبوب المجمع السفلي فيطرح مع مياه الطرح الدوري *

* لتعديل النظام المائي ولتحويل املاح القساوة الى تركيبات غير ترسيبة تضاف بعض المواد مثل املاح حمض الفوسفور (Na_3PO_4) الى مياه الحطة ، اما المواد المتشكلة السهلة الحركة فتطرح مع المياه زائدة الملوحة *

وتضاف المواد التصحية دورياً او باستمرار بمساعدة المضخات الحرارية *

٢- مولدات البخار ذات الجريان المباشر

الامر المسير في هذه المولدات هو اختصار الحطة ، وما ينتج عن ذلك من ان الاملاح الواردة مع مياه التغذية تترسب جزئياً ضمن المنطقة الاستقلالية ، ويدخل الجزء الآخر الى العنفة البخارية ، هذا مع العلم ان العنفة لا تتحمل ترسب كميات كبيرة من الاملاح حيث يتناقض مردودها بسرعة نتيجة لترسب الاملاح في هجرتها *

ولهذا السبب تفرض شروط مشددة بالنسبة لمواصفات مياه التغذية تترسب الاملاح المحملة مع مياه التغذية في انباب المرجل :

اما نوعية وكمية ومكان ترسب هذه الاملاح فيتعلق بخواص هذه الاملاح وبالضغط العامل ومع ازدياد الاخير تزداد قابلية البخار التذويبية وبذلك تحمل الاملاح الى مناطق ابعد من المنطقة الانتقالية وتزداد نسبة الاملاح المترسبة في العنفة .

الفسيل الدوري

يؤدي تراكم المواد المترسبة في المنطقة الانتقالية الى تخفيف الانتقال الحراري الى جسم التشغيل ، وانحراف النظام الحراري لسطح التسخين عن حدوده الاسمية المقبولة ، ولازالة المواد المترسبة يستعمل الفسيل الدوري المائي والكيميائي ، في الفسيل المائي تزال المواد والتركيبات التي تدخل في الماء وتجري عملية الفسيل ب淳 مياه ساخنة حتى ١٠٠ درجة مئوية حسب المخطط المغلق او المفتوح ، وفي المخطط المفتوح تطرح مياه الفسيل مباشرة بعد مرورها على المخطط ، والواضح ان الفسيل حسب المخطط المفتوح يتطلب كميات كبيرة من المياه المقطرة ولكنه اكثر فعالية من الفسيل حسب المخطط المغلق .
يطبق الفسيل الكيميائي حسب المخطط المغلق ويطرح بنتيجته كافة المواد المترسبة بما فيها الكلسية والمغниزية ومواد الاكسدة والاهتماء للمعادن غير الاوستينيتية . ويستعمل في الفسيل محلول حمض كلور الماء المخفف او محلول حمض الكبريت ولمنع اكسدة المعدن تضاف بعض المواد المضادة للاكسدة (الفورمالين ، الاوروتروبين) ، وبعد الفسيل الحمضي يتعرض مولد البخار للفسيل بالمياه التكتيفية الندية ، ثم يمرر محلول قلوي لفترة ١٠-١٢ ساعة (تركيز القلوي ٢٪) ثم يعاد العرسيل المياه التكتيفية . حاليا تستعمل طرق اكثر حداثة للفسيل الكيميائي .

الفصل الثامن

حساب الانتقال الحراري في مولد البخار

١-٨ حساب الانتقال الحراري في غرفة الموقد

تعاريف : يميز في الموقد بين درجات الحرارة التالية : درجة حرارة

الاحتراق النظرية ϑ_{max} واعظمية درجة حرارة

الحرارة عند مخرج الموقد ϑ (الشكل ١-٨) .

تتحدد درجة حرارة الاحتراق النظرية (الادياباتية) انتلاقاً

من شروط تحويل حرارة الاحتراق بكماليها على تسخين نواتج الاحتراق :

وذلك على افتراض انعدام الانتقال الحراري ، على الشكل ١-٨ يبين

طابع تغير درجة الحرارة الفعلية في الموقد حسب ارتفاعه ، وذلك

في شروط حدوث الانتقال الحراري ، ويتعلق المنحنى بكل من شدي

اجراء الاحتراق واكتساب الحرارة من قبل انباب المعاكس في منطقه

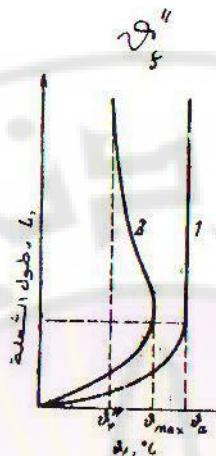
الالتهاب تزيد شدة الاحتراق (اطلاق الحرارة) على شدة التبادل

الحراري مع انباب المعاكس ولهذا السبب ترتفع درجة الحرارة

الفعالية الى قيمة اعظمية ϑ_{max} لها، ثم تنخفض درجة حرارة

الغازات مع الاقتراب من مخرج الموقد ، لتصل من اجل شروط محددة

الى قيمتها عند مخرج الموقد



الشكل (١٨) درجة الحرارة في حجرة الموقد

١- النظرية ٢- الفعلية

لتوصيف شروط التهاب الوقود يستعان بمفهوم الارتفاع النسبي لدرجة الحرارة الاعظمية؛ ويتحدد كنسبة ارتفاع مستوى درجة الحرارة الاعظمية مقاسا من قعر الموقد الى الارتفاع الاجمالي للموقد مقاسا حتى وسط نافذة خروج الغازات .

تتميز المواقد بكمية الطرح الحراري (التوتر الحراري) التي تتحدد بكمية الحرارة المطروحة في واحدة حجم الموقد :

$$q_v = \frac{B Q_b}{V_f} \quad \text{kw/m}^3$$

حيث q_v - حجم غرفة الموقد، m^3 .
درجة حرارة نوافذ الاحتراق عند الخروج من الموقد

تقسم سطوح التسخين تبعا لشروط الانتقال الحراري الى حملية واشعاعية ، وتحمل هذا التقسيم طابعا شرطيا نظرا لتدخل الانتقالين

الحراريين المذكورين ، الا ان السطوح الاشعاعية (المعاكس) تكتسب معظم الطاقة الحرارية بالاشعاع وينطبق نفس الامر بالنسبة للسطح الحملية .

لمنع كمية الحرارة الاشعاعية المكتسبة في المعاكس الموقدي الرمز Q_r ؟ ولكمية الحرارة المكتسبة في السطوح الحملية الرمز Q_c ؟ وبذلك تحسب كمية الحرارة المطروحة في الموقد كما يلي :

$$Q_r^{\circ} 2_{\text{g}} = Q_r + Q_c \quad (1-8)$$

يؤثر توزع الحرارة بين المركبتين Q_r و Q_c تاثيرا كبيرا على تصميم واستثمار مولد البخار وعلى مؤشراته الاقتصادية ، وتحدد النسبة Q_r/Q_c بدرجة حرارة نواتج الاحتراق عند مخرج الموقد " θ " .

تتغير قيمة مجموع سطوح التسخين الاشعاعية والحملية تبعاً للتغير درجة الحرارة " θ " والسبب في ذلك اختلاف قوائين التبادل

الحراري بالاشعاع والحمل ، وينتج عن ذلك اختلاف قيمة هذه السطوح مع اختلاف نسبتها Q_r/Q_c وتغير " θ " ، ويجري اختيار قيمة " θ " بالاستناد الى الحسابات الاقتصادية التقنية ويمكن تحويل هذه المسألة الى اجراء الحسابات المتعددة الاحتمالات لتكلفة مولد البخار (من اجل مختلف قيم " θ ") واختيار قيم الكلفة الدنيا التي تتواافق مع قيمة ما لدرجة الحرارة " θ " . لا يستحسن تخفيف " θ " كثيراً لانها تحدد مع قيمة درجة الحرارة

النظرية \rightarrow المستوى الحراري العام في الموقن فمما
ارتفاع \rightarrow يزداد الاحتراق شيئاً واستقراراً ويحمل هذا الامر
أهمية خاصة بالنسبة لموقد احتراق الوقود الذي يطلق قليلاً من
المواد الطيارة ، لغلب انواع الوقود المطلب تكون $\eta = 15 \div 1000$ ٪ .
يمكن تحديد η من علاقة انتلبي نواتج الاحتراق \rightarrow وبعد

ذلك تحدد الكمية Q_r

المعامل الزاوي لمعاكس الموقن

يرتبط سطح المعاكس الاشعاعي H_r^{ec} مع سطح الجدار الذي
يتوضع عليه المعاكس F_m^{ec} بالمعامل الزاوي للمعاكس x

$$x = \frac{H_r^{ec}}{F_m^{ec}} \quad , \quad (2-8)$$

يحدد المعامل الزاوي النسبة بين كميتي الحرارة التي يكتسبها
المعاكس والتي يمكن ان تكتسبها السطوح المغطاة بالمعاكس فيما
لو كانت متعددة من صفيحة واحدة فولاذية متواصلة ؛ وتمثل درجة
حرارة ودرجة مسحواط انسابيب المعاكس نفسها . ويتعلق المعامل الزاوي
بالمميزات التصميمية ويتحدد بالمنحنى (الشكل ٢-٨) وفي حالة الترصيف
المتلاصق لانسابيب اي مع الصيغة التالية $S/d = 1$ يكون

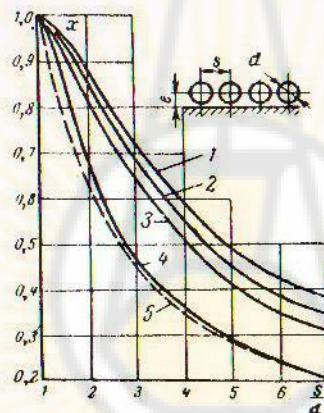
المعامل الزاوي $x = 1$ ؛ اي ان المعاكس يكتسب نفس كمية الحرارة
التي تكتسبها الصفيحة الفولاذية الواحدة . وعندئذ :

$$H_r^{ec} = F_m^{ec} = d.l.n \quad n, l, d$$

وعدد انسابيب المعاكس) اما المساحة الهندسية لانسابيب المعاكس فهي
 اي ان المساحة الهندسية اكبر ب $\pi d.l.n$ π مرة

من المساحة المكتسبة للطلاقة الحرارية الانشعاعية ، اي ان استخدام المعدن ضعيف الفعالية ، وعندما يكون $S/d = 2$ يكون عدد الانابيب هو $n/2$ (على نفس المساحة) وتتناقص مساحة المعاكس مرتين ويكون $x = 0,82$ و $H_{\gamma}^{ec} = 0,82 \cdot d \cdot n$ ، اي اقل فقط بنسبة 18% بينما ينخفض استهلاك المعدن مرتين .

يؤدي تخفيض كثافة الانابيب الى تخفيض الحماية عن غطاء مولد البخار ، ويتحدد اختيار الخطوة النسبية بنوعية الوقود وطريقة احراره وبتصميم المعاكس وانتاجية مولد البخار . تقع الخطوة النسبية المئران لانابيب المعاكس في المجال $S/d = 1,15 \pm 1,05$.



الشكل ٨ - ٢ المعامل الزاوي للمعاكس ذي الصف الواحد من الانابيب المتساوية الصف الواحد من الانابيب المتساوية .

١ - مع تأثير اشعاع الغلاف $e/d \geqslant 1,14$

٢ - نفسه من اجل $e/d = 0,8$:

٣ - نفسه من اجل $e/d = 0,5$:

٤ - نفسه عند $e = 0$:

٥ - في حال انعدام الاشعاع وعند $e/d \leqslant 0,5$.

درجة انعكاسية الموقد :

وتمثل بتنسبة سطح الموقد الكامل المكتسب للطاقة الاشعاعية الى المساحة الاجمالية لجدران الموقد :

$$\chi = \frac{H_r}{F_m} \quad (3-8)$$

يتضمن سطح الموقد الغرفي الذي يطرح الرماد بشكله الصلب على السطوح المغطاة بالمعاكس وسطح ثانية خروج الغاز بالإضافة الى سطح القسم العلوي من القمع البارد . في حالة الموقد الذي يطرح الخبث السائل والمواقد التي تستعمل الوقود السائل والغازى بدلا عن القمع البارد يستعاض بقعر الموقد .

تبعد العلاقات (٣ - ٨ ، ٢ - ٨) متماثلة الا ان قيمها مختلفة فالمعامل الزاوي χ يمثل فعالية استخدام جدار الموقد بالسطح المكتسب للطاقة الاشعاعية بالنسبة للتصميم المبين (الشكل ٢ - ٢) بينما تمثل χ نفس الكمية عمليا ولكن بالنسبة لكافية سطوح الموقد التي يمكن فيها وضع سطوح اكتساب الطاقة الحرارية الاشعاعية ، ولكن حسب تصميمات مختلفة في التجهيزات ذات القدرة الصغيرة لا تفطى كل جدران الموقد بانابيب المعاكس وبذلك يكون $\chi < < 1$.

معامل الفعالية الحرارية

تتعلق فعالية انابيب المعاكس بدرجة نظافتها ، فالمعاكس النظيف لا يطلق طاقة اشعاعية ، في الاستثمار يغطي المعاكس بطبقة من الرماد ، تمتلك معاملًا صغيرا للتوصيل ، ويؤدي الارتفاع الكبير لدرجة

حرارة الاواني الخارجية الى حدوث الاشعاع المعاكس، الذي يتوجه اخذه بعين الاعتبار عند حساب التبادل الحراري الاشعاعي ، وتقدير درجة اتساخ المعاكس بالمعامل ψ : الذي يتعلق بنوع الوقود وبطريقة احرافه ويتضمن المعاكس ، فمثلاً للوقود الفاري $\alpha_f = 0.65$ وللمازوت $\alpha_f = 0.55$ ، للفبار الفحمي $\alpha_f = 0.45$ ، ولتقدير فعالية المعاكس يعرف معامل الفعالية الحرارية بنسبة كمية الحرارة التي يكتسبها المعاكس الى كمية الطاقة الاشعاعية الساقطة، ويرتبط معامل الفعالية الحرارية ψ مع معامل اتساخ بالعلاقة :

$$\psi = \frac{1}{\alpha_f + 1} \quad (4 - 8)$$

درجة سواد الوقود

يتلقى المعاكس الطاقة الاشعاعية من الشعلات ذات درجة السواد α_f ، كما تشع اجزاء الغلاف الغير مغطاة بانابيب المعاكس ، تشارك اجزاء المتسخة من المعاكس في الاشعاع ، مما سبق يتوجب على درجة سواد الوقود α_f ان تعكس كافة الامور المذكورة ، ولذا تمثل العلاقة التالية :

$$\alpha_f = \frac{\alpha_f}{\alpha_f + (1 - \alpha_f) \psi} \quad (4 - 8)$$

عند تقدير درجة سواد الشعلة نفسها تقسم افتراضياً الى اجزاء مضيئة وآخرى مظلمة وتعطى درجة سواد الشعلة بالعلاقة :

$$a_f = m \cdot a_e + (1-m) a_s \quad , \quad (5-8)$$

حيث :

m - معامل يعكس درجة امتلاء جوف الموقد بالجزء المضيء من الشعلة، ويتعلق بالطرح الطاقي للموقد، مثلاً عندما يكون لشعلة الوقود الغاري $BQ_p^P / V_s < 400 \text{ kW/m}^3$ ، وعند $m = 0,1$ لالمازوت $BQ_p^P / V_s = 7930 \text{ kW/m}^3$ وللوقود الغاري $m = 0,85$ لشعلة غبار الفحم $m = 1$

a_e - درجة سواد الجزء المضيء من الشعلة ؟
 a_s - درجة سواد الأجزاء المظلمة من الشعلة وتحسب من معطيات اشعاع الغازات ثلاثية الدرجات $\cdot H_2O \cdot CO_2$ ،

معادلة التبادل الحراري الاشعاعي

تتمثل قوانين التبادل الحراري الاشعاعي في غرف مولدات البخار ذات الجمل المختلفة ويتميز عادة بين الحسابات التصميمية وتدقيقية .

في الحساب التصميمي تحدد مساحة التبادل الحراري الاشعاعي في غرفة الموقد ب العلاقة ذات الشكل التالي :

$$F_m = \frac{B_c \cdot Q_r}{6 \cdot M \cdot \Psi_m \cdot a_f (\vartheta_f + 273)(\vartheta_a + 273)^5} \times$$

$$X \sqrt{\frac{1}{M^2} \left(\frac{\vartheta_a + 273}{\vartheta'' + 273} - 1 \right)^2} \cdot m^2, \quad (6-8)$$

وفي حالة الحساب التدقيقى اعتقادا على القيمة المعطاة لسطح جدران الموقن تحدد درجة حرارة نوائح الاحتراق عند مخرج الموقن :

$$\vartheta'' = \frac{\vartheta_a + 273}{M \left[\frac{6_0 \Psi_m F_m \cdot q_t (\vartheta_a + 273)^3}{\varphi B_c V C_m} \right]^{0.6}} - 273, \quad (7-9)$$

في العلاقات (8 - 6) و (8 - 7) استخدمت الرموز التالية :

F_m - المساحة الكاملة لجدران الموقن ، m^2 ;

B_c - تصريف الوقود الحسابي ، Kg/sec ;

Q_r - كمية الحرارة المنقولة في المعاكس ، KJ/Kg ;

q_t - درجة سواد الموقن ;

Ψ_m - معامل الفعالية الحرارية الوسطي لمعاكسات الموقن

ϑ_a - درجة الاحتراق النظرية ، $^{\circ}C$;

ϑ'' - درجة حرارة نوائح الاحتراق عند خروجها من الموقن ;

φ - معامل حفظ الحرارة ويعكس ضياع الحرارة بالتبديد ;

$$\varphi = 1 - \frac{\vartheta_b}{240 + \vartheta_b}$$

$$= 6 \circ \quad ; \quad K_W / m^2 \cdot K^4$$

٧٣- السعة الحرارية الوسطية الاجمالية لتوافع احتراق واحد كغ من الوقود في المجال الحراري من 20°C إلى 900°C وحتى 950°C :

$$V_{C_m} = \frac{Q_t - I_f''}{g_a - g_f''} \quad , \text{ KJ/Kg. degree}$$

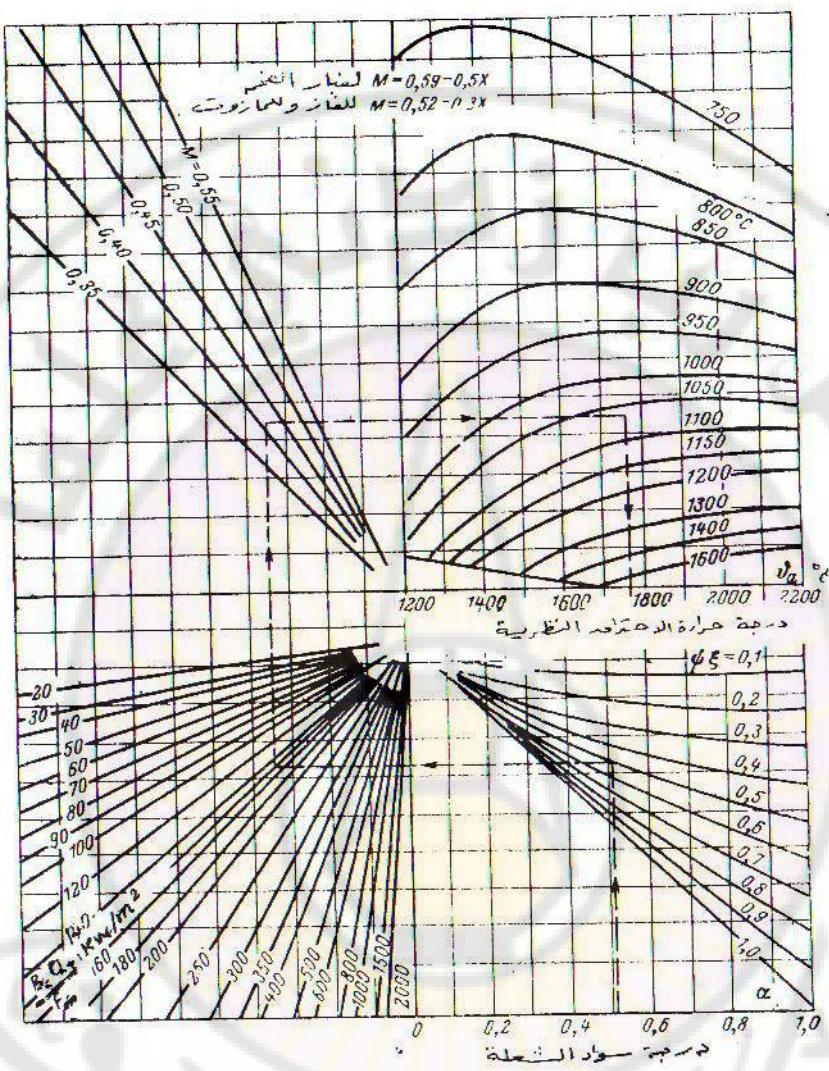
M - معامل حسابي يتعلّق بموضع درجة الحرارة الفعلية العظمى للغازات \propto ويتحدد بالعلاقة :

$$M = A - Bx \quad , \quad (8-8)$$

في العلاقة الأخيرة $B = 0,5$ ، $A = 0,52$ لمواقد المازوت
والغاز ، $B = 0,5$ ، $A = 0,59$ لمواقد غبار الفحم .
تحدد كمية الحرارة المفيدة في الموقد بالعلاقة :

$$Q_t = Q_p \cdot \frac{100 - (\gamma_3 + \gamma_6)}{100} + Q_a \cdot (g - g)$$

٣-٨ ولتحقيق ذلك يتوجب في البدء تعيين الكمية $B_c \cdot Q_t / F_m$ حيث Q_t الحرارة الداخلة الى الموقد مع الهواء لكل كغ وقود في الحسابات التقريبية للموقد يستخدم المخطط الوارد على الشكل .



الشكل (٣-٨) : مخطط حساب الانتقال الحراري

في حجرة الموقود .

٢-٨ الانتقال الحراري في سطح التسخين الحملية.

معادلات التبادل الحراري الحولي

تعني بسطوح التسخين الحملية العناصر التالية : الفيستون ، محمص البخار الاولى ، الحزمة الحملية ، المنطقة الانتقالية ، مكرر التحميم الموفر ، مسخن الهواء ، وبغض النظر عن خصائصها الا ان جميعها تتلقى الحرارة بالحمل، ولهذا السبب تتماشأ من حيث طريقة الحساب الحراري لها ، ويعتمد في ذلك على معادلات الانتقال الحراري الحولي

معادلة الانتقال الحراري :

$$Q_c = \frac{k \cdot \Delta t}{B_c} \cdot H \quad \text{kJ/kg} \quad (10-8)$$

معادلة الموازنة الحرارية :

$$Q_c = \varphi [I_g' - I_g'' + \Delta \alpha \cdot \nabla_a (Ct)_{a_0}] \cdot k \cdot \Delta t \quad (11-8)$$

حيث :

Q_c - كمية الحرارة التي يتوجب نقلها من خلال السطح الحولي

إلى جسم التشغيل ، kJ/kg ؟

H - سطح التسخين ، m^2 ؟

k - معامل الانتقال الحراري ، $\text{kw/m}^2 \cdot \text{degree}$ ؟

Δt - الضاغط الحراري الوسطي ، $^{\circ}\text{C}$ ؟

B_c - تصريف الوقود الحسابي ، kg/sec ؟

I_g' - استالبي نوائح الاحتراق عند مدخل سطح التسخين kg/m^2 ،

"I" - انتالبي نواتج الاحتراق عند المخرج ، KJ/Kg ؟

٥٥ - تسرب الهواء الى ممر الغازات ،

كمية الحرارة المنقولة خلال سطح التسخين الحولي

في حالات سطوح التسخين التي تحددت فيها مؤشرات جسم التسغيل الدخولية والخروجية يصبح في الامكان حساب كمية الحرارة المنقولة الى الجهة المكتسبة ونعطي على ذلك مثال المحمص :

$$Q_{sc} = \frac{D}{B_c} (i_{sc} - i + \vartheta_{sc}) \cdot \text{KJ/Kg} \quad (12-8)$$

حيث :

D - تصريف البخار المار خلال المحمص Kg/sec ؟

i_{sc} - انتالبي البخار المحمص ، KJ/Kg ؟

i - انتالبي البخار المشبع ، KJ/Kg ؟

ϑ_{sc} - الحرارة المأخوذة من البخار في مبرد البخار ، KJ/Kg ؟

تتألف الحرارة المكتسبة في المنطقة الاستقلالية من جزئين احدهما بخاري والثاني تحميصي :

$$Q_{t+2} = Q_{t+2}^{v} + Q_{t+2}^{sc} \quad (13-8)$$

يجري الحساب الحراري لمختلف اجزاء المنطقة الاستقلالية بشكل منفصل ،

ويحسب معامل الاستقلال الحراري الوسطي لكل المنطقة الاستقلالية .

الحرارة المكتسبة في الجزء البخاري من المنطقة الاستقلالية :

$$Q_{t_2}^v = \frac{D}{B_c} (1-x) r , \text{ kJ/kg} \quad (14-8)$$

ومنيلتها في المنطقة التحميمية :

$$Q_{t_2}^{sc} = \frac{D}{B_c} (1-x) r , \text{ kJ/kg} \quad (15-8)$$

حيث :

١- حصة البخار في المزيج عند دخوله إلى المنطقة الاستقلالية :

٢- حرارة البخار عند المضغط المترافق في المنطقة الاستقلالية :

٣- انتالبي البخار بعد المنطقة الاستقلالية المترافق للتحميم

المفترض فيها ، kJ/kg

بحسب الحرارة المكتسبة في مسخن الهواء بالعلاقة :

$$Q_{ac} = \alpha_{ac} \cdot V_a \cdot \left[(Ct)_{ac} - (Ct)_{af} \right] , \text{ kJ/kg} \quad (16-8)$$

الصاغط الحراري

الشكل ٨-٤ يتضمن أنواع الحركة المترافقية للجسام المسخنة

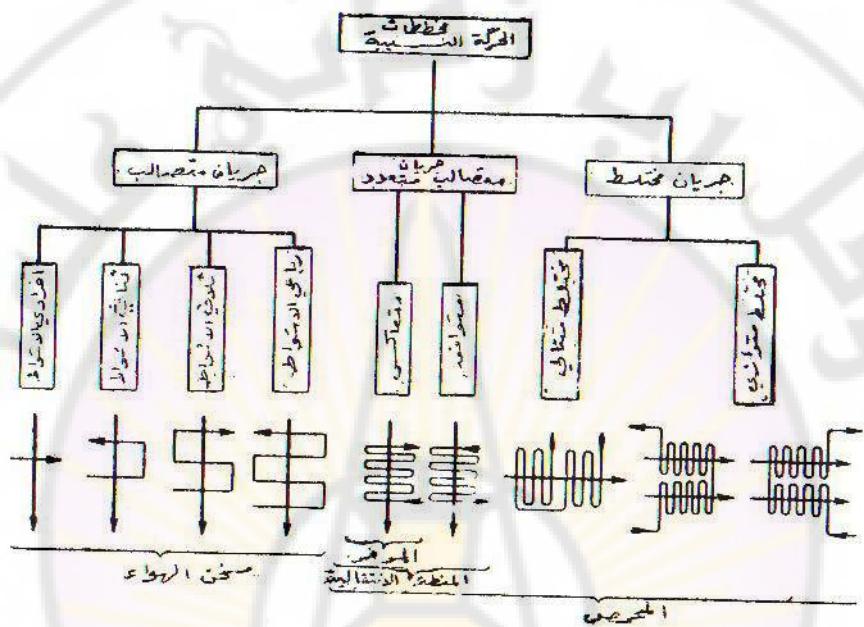
والمسخنة في التصميمات الشائعة، يمثل الصاغط الحراري وسطي فارق

درجات الحرارة على كل سطح التسخين وذلك لکلا وسطي التسخين

والتبديد، ويعطي بالنسبة لحالات الجريان التواافقي والمعاكس والمترافق

(حتى أربعة مشاور) بالعلاقة التالية :

$$\Delta t = \frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{2.3 \lg \frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}} \quad (17-8)$$



الشكل (٤-٨) المخططات الأساسية للحركة

النسبة لوسطي التسخين والتبريد في السطوح

الحملية من مولدات البحـــار .

حيث Δt_b و Δt_m - فوارق درجات الحرارة للكلا الوسطيين في أماكن سطح التسخين حيث يكون الفارق أعظميا وأصغرها على الترتيب

عندما يكون $1.7 \leq \frac{\Delta t_b}{\Delta t_m} \leq 5$ يمكن جساب الضاغط الحراري بدقة كافية للحسابات التقنية من العلاقة التالية :

$$\Delta t = \frac{\Delta t_b + \Delta t_m}{2} \quad (4.17-8)$$

في حالة الجريان المترافق عندما يكون عدد المشاويير أقل من أربعة وكذلك للجريان المختلط يحسب الضاغط الحراري بالعلاقة :

$$\Delta t = 4 \cdot \Delta t_{con} \quad (4.17-8)$$

حيث Δt_{con} - الضاغط الحراري المحسوب بافتراض الجريان متضادا ، ${}^{\circ}\text{C}$

٣ - معامل تصحيحي يتعين من المنشآت المستندة إلى -
المعدلات الحسابية المتعلقة بمخطط اتجاه حركة الوسطيين المتباين للحرارة ،

يعتبر تصميم الجريان المترافق مفضلًا لكافة سطوح التسخين في مولدات البخار «فيما عدا انتابيب توليد البخار حيث تكون درجة حرارة الوسط المحسّن ثابتة» ، والمعروف أن التصميم المترافق يمثل ضاغطا حرارياً أعظمياً بالمقارنة مع بقية المخططات ويسمح برفع درجة حرارة الوسط المحسّن إلى حد كبير ، ولكن لا يمكن دائمًا استخدام المخطط المترافق ، وذلك انطلاقاً من ضرورة تأمين الوثوقية الجديدة

لعمل المبادل الحراري؛ فالمحمص مثلاً ينفذ حسب المحاط المحيط أو المتعاكش حسب الضرورة.

معامل الانتقال الحراري

يعطي معامل الانتقال الحراري للصفحة المتعددة الطبقات بالعلاقة

التالية :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ext}}{\lambda_{int}} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{int}}{\lambda_{int}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (18 - 8)$$

حيث :

α_1 - معامل النقل الحراري من الوسط الممسن إلى الصفحة،

: $KW/m^2 \cdot degree$

α_2 - نفس الكمية من الصفحة إلى الوسط الممسن ؟

δ_{ext} ، δ_{int} ، δ_m - على الترتيب سمكات الصفحة

والاتساخات الخارجية والداخلية ، m :

λ_{ext} ، λ_{int} ، λ_m - على الترتيب معاملات التوصيل

للصفحة وللاتساخات الخارجية والداخلية، $KW/m \cdot degree$.

تعمل مولدات البخار العصرية حسب الانظمة التي تتبعها الترسانات

من جهة جسم التشغيل ، ويبدل وجود الترسانات في جهة الماء على

خروج نظام العمل عن حدوده. الاعتيادية ، ويجري الحساب الحراري على

افتراض ان مولد البخار يعمل بشكل اعتيادي وهذا يعني ان

$\delta = \lambda_{int} / \lambda_{ext}$ ، وتتفق سطوح التسخين عادة من انساب

رقيقة $\delta_m = 0,003 / 0,006 = 0,5$ ، ويكون معامل التوصيل كبيراً فيها

$$\lambda_m = 0,03 \div 0,04 \text{ kw/m.degree}$$

الحرارية للصفحة نفسها ، اي $\delta_m / \lambda_m = 5$

والامر غير ذلك بالنسبة للاتساخات الخارجية (اي الخبث ، الرماد ، حباب الفحم ، نواتج الاكسدة) ، حيث لا يمكن اهمال مقاومتها الحرارية وذلك على الرغم من اتخاذ التدابير المتوافقة لتنظيف الانابيب في الاستثمار .

يحدث النقل الحراري من جهة غازات الاحتراق بالحمل على اشعاع بين الانابيب ، لهذا تتألف من مجموع المركبتين الاشعاعية والحملية

$$U = \frac{\delta_{ext}}{\lambda_{ext}} + \alpha_r + \alpha_c \quad \text{لنسما}$$

حيث U - معامل الاتساخ وبذا نحصل على علاقة معامل الانتقال

الحراري على الشكل التالي :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_r + \alpha_c} + \frac{1}{\delta_{ext}}$$

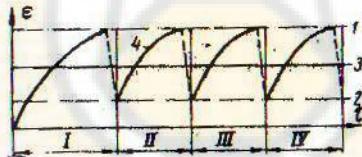
(8-19)

تتحدد مركبات معامل الانتقال الحراري عدا (α_c) كقيمة وسطية بالنسبة لكل سطح التسخين ويتعلق معامل النقل الحراري δ_{ext} بشروط تلامس سطوح التسخين مع نواتج الاحتراق ، وبهذا يتوجب تحديد سرعة نواتج الاحتراق في مقطع المجرى الذي يكون فيه التلامس فعالة بين الغازات وسطح التسخين ، الا ان هذه الطريقة غير مناسبة نظرا لاختلاف طرق تحديد (α_r ، α_c ، δ_{ext}) ، ولذلك يستحسن تحديد α_c في المقطع السكامل حيث تأخذ قيمتها الدنيا ، ثم يجري تعديل قيمة معامل النقل الحولي δ_{ext} بمعامل نقص التلامس $1 < n$ ، وبذلك تأخذ علاقه معامل الانتقال الحراري الشكل التالي

$$k = \frac{1}{\frac{1}{w\alpha_0 + \alpha_2} + \epsilon + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (20-8)$$

وللوصول بالانتقال الحراري الى قيمته العظمى يتوجب تصميم سطح التسخين على الشكل الذي يكون فيه التماس كاملاً بين سطح التسخين والغاز (١ - ٢) . وفي الاستثمار يتوجب مراقبة نظافة السطوح الخارجية للانابيب من الاتساخ او بتحفيض ٥ → ٤ .

يأخذ معامل التلامس قيمًا مختلفة بالنسبة لمختلف سطوح التسخين في الموفر مثلاً يعمل في شروط جيدة ويكون $k = 5000$ ، بينما يصعب تصميم سطوح التسخين الواقعه في ممر الغازات الالتفافي مع معامل التلامس المقارب للواحد ، ويكون من اجلها $0.7 \div 0.9 = 0.7$.
يؤدي التنظيف الخارجي لسطح التسخين الى تخفيف مقاومته الحرارية بشكل دوري (الشكل ٢٠-٨) وفي الحسابات توحد القيم الوسطية لمعامل الاتساخ ، ويتعلق هذا الامر بموضع المبادل ففي



الشكل (٢٠-٨) : طابع اتساخ سطوح التسخين من جهة الغازات.

- ١- قبل التنظيف ، ٢- بعد التنظيف ، ٣- القيمة الوسطية الاستثمارية ، ٤- الاتساخ الفعلي .
- I ، II ، III ، IV - ادوار عمل التجهيز بين عمليات التنظيف المتتالية .

السطح الواقعة بالقرب من الموقن تتشكل في حالة احراق الوقود قليل
الخبيث طبقة رقيقة من الخبيث وتكون سرعة الغارات صغيرة ١٥ بـ ٥
و درجة الحرارة عالية ، في الموقن تتشكل طبقة رقيقة
من الرماد على الانابيب الافقية ذات الخطوة الصغيرة ويؤدي ذلك الى
رداءة الانتقال الحراري .

تستعمل العلاقة (٨ - ٢٥) لحساب المحممات في حالة الترتيب
السطرجي للانابيب فقط وذلك في حالة احراق الوقود المصطب .
في انابيب توليد البخار بما فيها الواقعة في المنطقة الانتقالية
الحرارية $\frac{1}{\alpha_2} \approx \frac{1}{\alpha_1}$ في الموقن $K = \frac{3}{5} \approx 0.6$ فالسقاومة
تبسط علاقة معامل الانتقال الحراري الى الشكل التالي :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{w\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{1}{w\alpha_2}} \quad , \quad (21-8)$$

لحساب معامل الانتقال الحراري في اي من حالات ترتيب الانابيب وعند
احراق الصاروت والغار وكذلك الامر عند احراق الوقود المصطب وترتيب
الانابيب الكوريدوري يحدد معامل الانتقال الحراري بالاستعانة بمفهوم
معامل الفعالية الحرارية :

$$k = \Psi \frac{1}{\frac{1}{w\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad , \quad (22-8)$$

لأنابيب توليد البخار وللم منطقة الانتقالية والموفر

$$k = \psi (\alpha_0 + \alpha_r) \quad (23-8)$$

عند حساب معامل الانتقال الحراري لمسخنات الهواء يهم الانتقال الحراري الأشعاعي بسبب انخفاض درجة الحرارة النسبي ، وصغر الحجم الغازي ويجمع تأثير معامل الاتساع γ ومعامل التلامس α ضمن معامل واحد هو معامل الفعالية الحرارية ψ ولذلك تعطى علاقة معامل الانتقال الحراري لمسخن الهواء الانبوبى على الشكل التالي :

$$k = \psi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (24-8)$$

وللم سخنات الاسترجاعية :

$$k = \psi \Pi \frac{1}{\frac{1}{x_1 \alpha_1} + \frac{1}{x_2 \alpha_2}} \quad (25-8)$$

حيث :

$$x_1 = \frac{H_g}{H} = \frac{F_g}{F}$$

x_1 - حصة سطح التسخين او المقطع المتلامس مع نواتج الاحتراق ؛

$$x_2 = \frac{H_a}{H} = \frac{F_a}{F}$$

x_2 - حصة سطح التسخين او المقطع المتalamس مع الهواء ؛

Π - معامل يعكس عدم الاستقرار الزمني

في التبادل الحراري عند عدد دورات

الدوار ١٨٥ ٦٢ دورة في الدقيقة

$$\text{يكون } \frac{1}{t} = \frac{1}{\tau}$$

تتقارب قيمة $\frac{1}{t}$ و $\frac{1}{\tau}$ بالنسبة لمسخن الهواء، في النوع الانبوي تكون $0,85 \div 0,8 = 1$ وذلك عند احراق كافة انواع الوقود ، في المسخن الاسترجاعي $0,9 \div 0,9 = 1$.

تتعلق معاملات النقل الحراري $\frac{1}{t}$ ، $\frac{1}{\tau}$ في كافة سطوح التسخين بسرعة الجريان ، وتزداد مع ازديادها ، وهذا يؤدي الى انخفاض سطوح التسخين وذلك ضمن الشروط الاخرى المتماشية .
اختيار سرعة غازات الاحتراق

تؤدي زيادة سرعة غازات الاحتراق الى رفع شدة التبادل الحراري الحولي الا ان زيادة السرعة تتراافق مع ازدياد للمقاومة الهيدروليكيه وارتفاع مصروف الطاقة للتنغلب على هذه المقاومة ، لاتؤثر الشروط الحرارية تاثيرا كبيرا في اختيار سرعة الجريان ، حيث يزداد معامل النقل الحراري الاشعاعي $\frac{1}{\tau}$ مع ارتفاع درجة حرارة الغازات وازدياد حجم السفارات ، ولهذا السبب يكون التبادل الحراري الاشعاعي بين الانابيب في سطح (الفيستون) ملماسا نظرا لارتفاع درجة حرارة الغازات ($1100 \div 1100$) ولكبر حجمها ايضا بسبب كبر خطوة الانابيب . في هذه الشروط يصبح تكبير سرعة الغازات على حساب تصغير حجمها امرا غير ذي فائدة .

في منطقة المؤفر ومسخن الهواء يصبح التبادل الحراري الاشعاعي صغيرا بسبب انخفاض درجة الحرارة نسبيا ، ويصبح تكبير سرعة جريان

الغازات امرا مفيدا ، وهذا يعني عمليا انه يتوجب تنفيذ جملة الانابيب مع خطوة مكثفة ، تظهر نسبة طرح الرماد في الوقود تأثيرا على اختيار سرعة الجريان ، ويطرح مع غازات الاحتراق حوالي 90% من رماد الوقود في طريقة احراق الوقود المصلب الغرفية والتي يطرح فيها الرماد بشكله الصلب ايضا ، ولهذا السبب تحدد سرعة غازات الاحتراق بشرط منع اهتراء سطوح التسخين بالرماد واعتمادا على تأثير مختلف العوامل تؤخذ سرعة الجريان قريبة من 10 m/sec في حالة الجريان المعتمد لمحور الانابيب ، وفي حالة الجريان الطولي بالنسبة للانابيب حتى 13 m/sec ، وعند احراق المازوت والغاز وفي حالة طرح الرماد السائل تؤخذ سرعة الجريان الغازي اكبر من ذلك بقليل .

نختار سرعة الهواء في مسخنه انطلاقا من شرط المساواة التقريبية بين $\frac{d}{D}$ و $\frac{v}{w}$. في مسخن الهواء الانبوبى حيث يمر الهواء معارضا لمحور الانابيب وتتمر الغازات حسب طول الانابيب تكون نسبة سرعة الهواء الى الغازات مساوية $0,6 \div 0,6 \frac{v}{w}$ ومن غير المفيد زيادة سرعة احد الجريانين لأن ذلك يؤدي الى زيادة الطاقة المبذولة لعمل مروحة التهوية (في حالة الهواء) ومرودة الامتصاص (في حالة الغازات) دون تحقيق زيادة مفيدة للانتقال الحراري . في مسخنات الهواء الاسترجاعية حيث يمر كل من الغازات والهواء طوليا بالنسبة لسطح التسخين تؤخذ النسبة $0,7 \div 0,9 \frac{v}{w}$.

سرعة البخار

تؤخذ سرعة البخار في الم焚كات انطلاقا من شروط التبريد المضمن

للمعدن ، والمعلوم ان معدن المحمص ي العمل في شروط حدية من حيث درجة حرارة تسخين المعدن ، ولتحقيق التبريد الفعال يتوجب تأمين السرعة الكافية للبخار ، ففي حالة الضغط المتوسط تؤخذ السرعة $25 \text{ m/sec} = 15 \div 15 = 1 \text{ sec}$ وفي حالة الضغط العالي $15 \text{ m/sec} = 8 \div 8 = 1 \text{ sec}$.

٣-٨ الانتقال الحراري في سطوح التسخين الستائرية (Paravent)

تستعمل سطوح التسخين الستائرية عادة كمحمصات للبخار وهي تعمل ضمن شروط التسخين الشديد وتتلقى الحرارة بالأشعاع من الموقدم $Q_{r,p}$ وبالحمل مع الاخذ بعين الاعتبار الاشعاع الحادث بين الانابيب $Q_{c,p}$ تحسس الستائر باعتبارها سطوح تبادل نصف اشعاعية ، وتفترض في البدء حصة الستائر δ_p من الحرارة الاجمالية المكتسبة بالمحمص

$$\Delta t_{sc} :$$

$$\Delta t_p = \delta_p \cdot \Delta t_{sc} , \text{ KJ/kg} \quad (26-8)$$

انتالبي البخار عند خروجه من الستائر :

$$i_p = i_{sc} + \Delta t_p , \text{ KJ/kg} \quad (27-8)$$

تحدد الطاقة الحرارية الكاملة المكتسبة في الستائر لكل واحد وقود من معادلة الميزانية الحرارية :

$$Q_p^b = \frac{D \cdot \Delta t_p}{B_c} = Q_{r,p} + Q_{c,p}^b , \text{ KJ/kg} \quad (28-8)$$

ومنه يكون لدينا :

$$Q_{c,p}^b = Q_p^b - Q_{r,p} \cdot KJ/kg \quad , \quad (29-8)$$

تحسب كمية الحرارة الاشعاعية المنتقلة الى الستائر الواقعه فوق الموقد مع الاخذ بعين الاعتبار الاشعاع المنتقل من الموقد الى سطوح التسخين التالية كما يلي :

$$Q_{r,p} = y \left(\frac{Q_r}{H_r} \right) \left[1 - x_{t,p} \cdot (1 - a) \right] \times \\ \times H_{r,p} \cdot \epsilon_p \cdot \frac{1}{B_e} \cdot KJ/kg \quad , \quad (30-8)$$

حيث :

- y - معامل توزيع التدفقات الحرارية النسبية حسب ارتفاع حجرة الموقد ، لمنطقة توضع الستائر في مواقد غبار الفحم
- $y = 0,6 \div 0,9$ لمواقد المازوت والغاز $0,6 \div 0,8$
- a - درجة سواد الجريان المغير في منطقة الستائر
- $H_{r,p} \cdot \epsilon_p$ - سطح الستائر الفعال المكتسب للحرارة الاشعاعية ، m^2
- Q_r / H_r - الحملة الحرارية الوسطية للمعاكس ، KW/m^2
- $x_{t,p}$ - المعامل الزاوي من الموقد على السطح الذي يلي الستائر .

$$x_{t,p} = \sqrt{\left(\frac{c}{b}\right)^2 + 1} - \frac{c}{b} \quad , \quad (31-8)$$

حيث :

- b - المسافة بين الستائر المجاورة ، m
- c - عمق الستائر حسب حركة نوافذ الاحتراق ، m

اعتماداً على البند ٤-٨ تُحسب كمية الحرارة المنقولة بالحمل مع حساب الاشعاع ما بين الانابيب $Q_{c,p}^t$ (العلاقة ٤-٨) وتحدد المساحة الحسابية للستائر $H_{c,p}$ التي تشارك في التبادل الحراري الحولي كما يلي :

$$H_{c,p} = H_p - H_{r,p} \quad m^2 \quad (32-8)$$

تحدد المساحة الكلية للستائر H_p بالعلاقة :

$$H_p = \pi d \cdot l \cdot n \cdot z \quad m^2 \quad (33-8)$$

حيث :

l - طول انبوبة واحدة من الستائر ، m :

$H_{r,p}$ - مساحة الستائر المكتسبة للحرارة اشعاعياً ، m^2 :

n - عدد الانابيب في قطعة الستائر :

z - عدد الستائر .

تحدد مساحة الستائر المكتسبة للطاقة الاشعاعية عند الخطوة النسبية

$S_2/d \leq 1.1$ يمثلي السطح المدار من خلال محور انابيب

الستائر والمحدد بالمولادات الخارجية للانابيب الطرفية ، عند

$S_2/d > 1.1$ يتوجب حساب المعامل الزاوي α (الشكل ٤-٨) ،

في هذه الحالة $H_{r,p} = 2 H_m \cdot \alpha$ ويعتبر الحساب منتهياً اذا لم

يزد الفرق بالكميات $Q_{c,p}^t$ و $Q_{c,p}$ عن ٢%.

واداً لم يتحقق ذلك تفترض قيمة جديدة δ_m ويعاد الحساب .

٤-٨ مسائل وطرق وتسلسل الحساب الحراري

مسائل وطرق الحساب الحراري

لمولد البخار

يتميز عادةً بين الحساب التصميمي والحساب التدقيقـي ، وتعتبر طريقتـهما واحدة ، إنما يكمن الاختلاف في أهداف الحساب وفي الكميات المقصودة فيه .

الحساب التصميمي : ويستهدف تحديد ابعـاد المـوقد وسطـوح التسخـين وذلك ضمن المستوى الـاقتـصادي المـفترض والـوثـوقـية التي تـضـمـن الحصول على الـانتـاجـية الـاسـمـية عند الـقيـمـ المـفـترـضة لـكـلـ من مؤـشـراتـ البـخارـ وـدـرـجـةـ حرـارـةـ مـيـاهـ التـغـذـيةـ وـالـوقـودـ .

نتـيـجةـ لـلـحـاسـبـ الـحرـارـيـ نـحـصـلـ عـلـىـ الـمعـطـيـاتـ الـلاـزـمـةـ لـاـجـرـاءـ حـاسـبـ الـمـتـانـةـ وـلـاـخـتـيـارـ موـادـ عـنـاصـرـ مـولـدـ الـبـخارـ ، وـلـتـنـفـيـذـ الـحـاسـابـاتـ الـهـيـدـرـوـلـيـكـيـةـ وـالـأـبـرـوـدـيـنـامـيـكـيـةـ وـمـنـ ثـمـ اـخـتـيـارـ الـمـعـدـاتـ الـمـسـاعـدةـ .

تحـتـويـ المـهـمـةـ التـصـمـيمـيـةـ الـلـازـمـةـ لـلـحـاسـبـ التـصـمـيمـيـ (ـ الـمعـطـيـاتـ)

المـؤـشـراتـ الـاـسـاسـيـةـ التـالـيـةـ :

نـوعـ وـاسـطـاعـةـ مـولـدـ الـبـخارـ ، مـؤـشـراتـ الـبـخارـ الـاـولـيـ ، تـصـرـيفـ وـمـؤـشـراتـ بـخارـ التـحـمـيمـ الـمـكـرـرـ ، مـعـطـيـاتـ حـاسـبـ جـمـلـةـ تـحـضـيرـ غـبـارـ الـفـحـمـ درـجـةـ حرـارـةـ مـيـاهـ التـغـذـيةـ ، مـمـيـزـاتـ الـوقـودـ ، وـقـدـ تـضـافـ مـعـطـيـاتـ اـخـرـىـ مـنـهـاـ : طـرـيقـةـ اـحـرـاقـ الـوقـودـ ، درـجـةـ حرـارـةـ تـسـخـينـ الـهـوـاءـ وـتـصـرـيفـ الـمـيـاهـ زـائـدـةـ الـمـلـوـحةـ .

الـحـاسـبـ التـدـقـيـقـيـ

يـنـفـدـ بـعـدـ اـعـدـادـ الـحـاسـبـ التـصـمـيمـيـ ، وـيـسـتـهـدـفـ حـاسـبـ ماـ يـلـيـ : درـجـاتـ

حرارة المياه والبخار ونواتج الاحتراق عند حدود سطوح التسخين ، مردود مولد البخار ، تصريف الوقود وكمية نواتج الاحتراق ، ويستند الحساب التدقيقى على معطيات الحساب التصميمى ، ويمكننا من تحديد اقتصادية درجة وشقيقة مولد البخار كما تعدد بنتيجهه الارشادات اللازمة لاعادة التصميم ، ونحصل على المعطيات اللازمة لاجراء الحسابات الهيدروليكية والابروديناميكية ولحسابات المتانة .

ولتنفيذ الحساب التدقيقى يتوجب الحصول على ما يلى : مخططات مولد البخار الواصفة لتصميمه ولابعاد الوقود ، ولكلافة سطوح التسخين وللمرات الفارات ، معطيات عن جملة اعداد الوقود ، درجة حرارة مياه التغذية ، تصريف المياه زائدة الملوحة .

يستخدم الحساب التدقيقى في حالات مقارنة معطيات الحسابات مع المؤشرات الاستثمارية لعمل مولد البخار ، وعند اعادة تصميمه او تغيير نوع الوقود المستخدم ، وعند عمله على حمولة مختلفة عن الحمولة الاسمية .

تسلیسل الحساب التصميمي الحراري لمولد البخار ذي الحطة

لمولد البخار ذي الحطة (الشكل ٦-٨) :

١- يحسب حجم الهواء اللازم نظريا للاحتراق وحجم نواتج الاحتراق

(البند ٥-٢) :

٢- يحسب الحجم الفعلى لهواء ونواتج الاحتراق في الوقود وفي

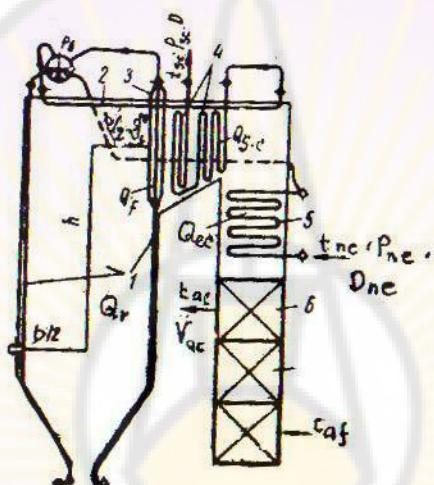
ممارات الفارات مع الاخذ بعين الاعتبار التسربات الحادثة في

مضخة الغارات (البند ٦-٢) :

٣- يحسب انتالبي نواتج الاحتراق والهواء (البند ٧-٢)

٤- تشكل الميرانية الحرارية لمولد البحار وتتعدد المضياعات الحرارية q_2 ، q_3 ، q_4 ، q_5 ، q_6 وبحسب المتردد القائم ومصروف الوقود (البند ٣-٧) :

٥- يجري حساب الموقد حسب البند ١-٨ ، واعتماداً على درجة الحرارة t_{h} التي جرى اختيارها يحدد السطح الكامل لجدار الموقد F_m وفي حالة وجود المعاكسات ثنائية الأضاءة والستائر يتوجب حساب ازدواجية الأضاءة فيها .



الشكل (٦-٨) المخطط الحاسبي للمولد ذي الـطة.

- سطوح التسخين الـخـرـية ،
- المـحـمـصـ السـقـفيـ ،
- الفـيـسـتوـنـ ،
- المـحـمـصـ الـحـلـيـ ،
- المـوـفـرـ ،
- مـسـخـنـ الـهـوـاءـ .

٦ يجري اختتام الحساب بالتحقق مما يلي :

آ- عدم زيادة الطرح الحراري في الموقد $Q_{v_0} = \beta Q^0$

عن القيم الحدية المسموح بها *

ب- تطابق درجة الانعكاسية $H_r / F_m = \mu$ الحاملة

نتيجة للحساب مع القيمة المفترضة ويجب ان لازيد الفارق

بيتما عن ٤٥,٥%

ج- طول الشعلة الذي يساوي $h + \delta$ (الشكل ٦٨)

٧ يأخذ حساب التبادل الحراري في غرفة الموقد بعين الاعتبار

كمية الحرارة التي يستهلكها ما يسمى الفيستون - وهو السطح

المجاور للموقد ، ونتيجة لذلك تكون ابعاد الفيستون المشكل

من اسماك المعابر الخفي معلومة ، ويمكن الحساب التدريجي

المجرى لسطح الفيستون من تحديد سطحه H_{f_0} واعتمادا على

كمية السطح تحسب كمية الحرارة Q_{v_0} التي يكتسبها ودرجة حرارة

نواتج الاحتراق خلف سطح الفيستون θ_{f_0} ، وبالنسبة للمحيط

الوارد على الشكل ٦٨ تتساوى درجة الحرارة المذكورة مع درجة

حرارة نواتج الاحتراق قبل الممحص θ_{f_0}

٨ تتوزع الطاقة الحرارية لنواتج الاحتراق المتبقية بين سطوح

التخزين الحملية لمسار الماء والبخار وعلى مskin الهواء حسب

الميزانية الحرارية (٣٤ - ٨) ، ويجرى لهذه السطوح الحساب

التصميمي ، في البدء تتوزع الحرارة ما بين السطح التي تكون

فيها مؤشرات جسم المستشفيل الدخولية والخروجية معلومة (معطاة) ،

اعتمادا على البند ٢-٨ تحدد كمية الحرارة التي يتوجب نقلها

إلى المحمص Q_{sc} للوصول بحالة البخار إلى المؤشرات المعطاة

$$(V_{ac}, t_{ac}, P_{sc}, D, Q_{ac})$$

٩- يختتم توزيع الحرارة بمعرفة كمية الحرارة التي يكتسبها الموفر

عانياً بالمؤشرات الخروجية للموفر تكون غير معلومة ، وبعد

معرفة كميات الحرارة المكتسبة في المحمص ومسخن الهواء تصبح

درجة حرارة غازات الاحتراق قبل وبعد الموفر معلومة وتحسب كمية

الحرارة المنقولة إلى الموفر بالعلاقة (١١ - ٨) :

١٠- في حالة وجود مسخنات الهواء والموفرات ثنائية المراحل

تحسب على الترتيب المرحلة الأولى من مسخن الهواء ثم المرحلة

الثانية ثم تحسب مراحل الموفر الأولى والثانية على الترتيب .

١١- يجري التحقق من صحة توزيع الحرارة بين سطوح التسخين بمساعدة

معادلة الميزانية الحرارية :

$$Q_p^p \cdot 2_{3,g} = (Q_r + Q_s + Q_{sc} + Q_{ec}) \frac{100 - \eta_4}{100} \quad (8-11)$$

ويتوجب الا يزيد عدم التطابق في المعادلة السابقة عن ٥٪

من الطاقة الحرارية المستحوذة Q_p^p .

١٢- بعد الاقتناع من صحة توزيع الحرارة بين سطوح التسخين ينفذ .

الحساب التصميمي للمحمص والموفر ولمسخن الهواء تبعاً لارشادات

البند ٢-٨ .

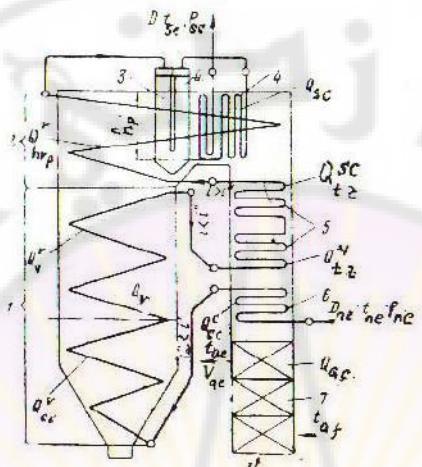
خصائص حساب مولد البخار ذي الجريان المباشر
سندرس موضوع خصائص حساب مولد البخار ذي الجريان المباشر

بالنسبة للمخطط الوارد على الشكل ٧-٨

بسبب انعدام الحطة في هذا المخطط تزول المناطق المحددة لحالة جسم التشغيل الترموديناميكية، وتؤخذ هذه الخاصية بعين الاعتبار عند تحديد مؤشرات التحول الطوري لجسم التشغيل .

ينفذ الموفر الحولي بشكل لا تصل حالة الماء فيه الى مستوى الغليان، والهدف من ذلك كما هو معلوم زيادة وشوقية عمل انسابيب توليد البخار، ولهذا السبب يتوضع الجزء الخروجي من الموفر في الجزء السفلي من الموقد ، حيث يتلقى الحرارة بالاشعاع ، ويتعلق نقص التسخين في الجزء العملي من الموفر بالمضط ، فمع ارتفاع الاخير ينخفض مقدار نقص التسخين حتى الغليان ، ويشكل بالنسبة لمولد البخار ذي المضط المجاور للقيم الحرجة كمية لا تقل عن $120 \div 200 \text{ kg/m}^2$ في التصميم المبين يقوم الجزء الخروجي من قسم الاشعاع السفلي بوظيفة انسابيب توليد البخار الواقعة قبل منطقة الترسيب .

في الحسابات تفترض نسبة احتواء البخار عند الدخول الى المنطقة الانتقالية مساوية $0,7 \div 0,85$ ، في المنطقة الانتقالية يتبخّر الجزء المائي من المزيج البخاري المائي بشكل كامل ، ويتحمّن البخار الناتج فوق درجة حرارة الاشعاع بما لا يقل عن 20°C ، ويصل البخار لحالة التحميص النهائية في المحمص الاشعاعي الواقع في الجزء العلوي من الموقد (القيم الاشعاعي العلوي) وفي المحمص الحولي وفي السائر الواقعة بين المحمصين المذكورين .



الشكل (٧-٨) : المخطط الحسابي لمولد الحرارة المباشر
 ١- القسم الاشعاعي السفلي ، ٢- القسم الاشعاعي العلوي ،
 ٣- الستائر ، ٤- المحمص الحولي ، ٥- المنطقة
 الانتقالية ، ٦- الموفر ، ٧- مسخن الهواء .

ينخفض ضغط جسم التشغيل في مولدات البحار ذات الجريان المباشر باستمرار مع حركته ضمن المسار المائي. البخاري وتصل قيمة الضغط عند خروج البخار من المحمص إلى القيمة الحسابية ، وتنص قيمة هبوط الضغط في المسار المذكور إلى 30% من قيمة ضغط البخار المحمص .

عند ضغط البخار 140 kg/cm^2 يتوزع هبوط الضغط على الشكل التالي :

الموفر	21%	القسم الاشعاعي السفلي	10%
--------	--------	-----------------------	--------

الاشعاع المتوسط $\approx 5\%$ ، المنطقة الانتقالية $\approx 3\%$ ، المحمص الحملي $\approx 6\%$ ، المحمص العلوي والمحمص السقفي $\approx 8\%$ في مولدات البخار ذات الضغط فوق الحرج $45 \text{ كيلو بار} = 52\%$.
 تتحسب كمية الحرارة تبعاً لتوزيعها على المسار المائي البخاري
 ويؤخذ هنا بعين الاعتبار هبوط الضغط على طول المسار، وتستعمل لذلك
 العلاقات التالية :

العلاقة K_J / K_g	اسم عنصر المسار
$Q_{ee}^c = (i''_{ee} - i'_{ee}) \cdot D / B_c$	الموفر الحملي
$Q_{ee}^r = (i'_{ee} - i''_{ee}) \cdot D / B_c$	القسم الوفري بين (ق، ش، س)
$Q_s^r = r \times D / B_c$	الجزء البخاري من (ق، ش، س)
$Q_{tz}^r = (1-\alpha) \cdot r \cdot D / B_c$	القسم البخاري من المنطقة الانتقالية
$Q_{tz}^{gg} = (i''_{tz} - i'') D / B_c$	القسم التحميسي من المنطقة الانتقالية
$Q_p = g_p \cdot G_p \cdot H_p^r / H_r$	الستائر (الحرارة الأشعاعية)
$Q_p = Q_p^r + Q_p^c$	الستائر (الحرارة الحمليه والأشعاعية)

$Q_{sc}^r = y_p \cdot Q_r \cdot h_p \cdot a / H_r - Q_p^r$	المحمص الحولي (حرارة اشعاعية من الموقد)
$Q_{hr,p}^r = Q_r - (Q_{ec}^r + Q_{ev}^r + Q_p^r + Q_{sc}^r)$	القسم الاشعاعي العلوي (ق، ش ، ع)
$Q_{sc}^e = Q_r - (Q_{ec}^e + Q_{ev}^e + Q_{hr}^e + Q_{t2}^e + Q_{t3}^e + Q_p + Q_{sc}^r + Q_{hr,p}^r)$	المحمص الحولي (حرارة حملية من ممر الغازات)

يتناول الحساب الحراري لمولد البارد الجريان المباشر مع طريقة الحساب المبينة لمولد البخار ذي الحطة فيما يتعلق بتحديد حجم الغراء ، نواتج الاحتراق وانتالبيها وحساب الفيمايات الحرارية ، ومصروف الوقود وحساب التبادل الحراري في الموقد .

في العلاقات السابقة وردت الرموز التالية

y_p – انتالبي البخار المحمص خلف المنشفة الانتقالية ، kg/kg :

H_p^r – سطح السباير الاشعاعي ، m^2 :

H_r – السطح الاشعاعي الاجمالي للموقد ، m^2 :

a – عرض المورن ، m :

y_p – معامل توزيع التدفقات الحرارية .

يجري التحقق من توزيع الحرارة بين سطوح التسخين بمساعدة معادلة

الميزانية الحرارية

$$Q_p \cdot Z_{sg} = (Q_{ec}^c + Q_{ec}^r + Q_v^r + Q_{tg}^v + Q_{tg}^{sc} + \\ + Q_{hrp}^r + Q_p + Q_{sc}^r + Q_{sc}^c) \cdot \frac{100 - 9\psi}{100} , \text{ kJ/kg} , (35-8)$$

ويسمح بعدم التطابق بحدود $0,5^{\circ}/\Delta$ من الحرارة الداخلية.
الخطوة التالية هي اجراء الحساب التصميمي تبعا للطريقة الواردة
في البند 2-8 .

معدات المسار الهوائي الغازي واقلاع مولد البخار

١-٩ المسار الهوائي الغازي و اختيار مراوح التهوية والامتصاص

يتالف المسار الهوائي الغازي من مجموعة عناصر منشأة توليد البخار ، التي ي sisir فيها كل من هواء الاحتراق (المسار الهوائي) وغازات الاحتراق (المسار الغازي) ويتضمن مسار الهواء على مراوح التهوية التي تقوم بدفع الهواءخارجي إلى الموقد ، وتقوم مروحة الامتصاص بسحب غازات الاحتراق منه ، ويقوم كل من مروحة التهوية والامتصاص باكتساب الهواء وغازات الاحتراق بفرق الضغوط الكاملة اللازم للتغلب على مختلف المقاومات الهيدروليكيية الواقعه في مسارهما ويعطى فرق الضغوط الكاملة بالعلاقة التالية :

$$\Delta H_c = \frac{\Delta h - h_m}{\rho_c} , \quad (٤-٩)$$

حيث :

كسموزي سعاد دار
٢٦٠

Δh - المقاومة الهيدروليكيه للمسار ، P_c :
 h_m - السحب الذاتي ويعطى بالعلاقة :

$$h_m = (z_2 - z_1) (\rho_a - \rho) g \quad P_c, (2-9)$$

z_1, z_2 - المستويات الجيوديسية لبداية ونهاية مسار الغارات
حسب اتجاه الحركة :

ρ_a - كثافة الوسط المنقول والهواء الخارجي ، kg/m^3
 g - تسارع الجاذبية الارضية m/sec^2 . $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$

تحسب المقاومات الاحتاكية والموضعية بعلاقات من الشكل التالي :

$$\Delta P_f = \lambda \frac{l}{d_{eq}} \cdot \rho \frac{w^2}{2}, \quad P_c \quad , \quad (3-9)$$

$$\Delta P_m = \lambda \cdot \rho \frac{w^2}{2}, \quad P_c \quad , \quad (4-9)$$

حيث :

λ - معامل المقاومة الاحتاكية :

l - طول جزء المسار ، m

d_{eq} - القطر المكافئ ، m :

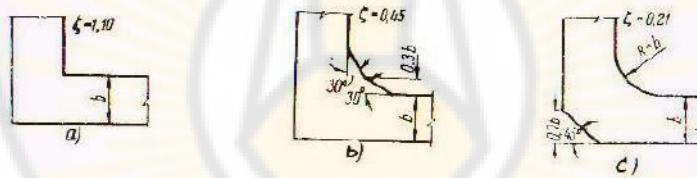
ρ - الكثافة الوسطية لجسم التشغيل ، kg/m^3 :

w - السرعة الوسطية ، m/sec

λ - معامل المقاومة الموضعية .

تبذل على تدوير المراوح طاقة كهربائية كبيرة تشكل احدى اكبر مركبات الاستهلاك الكهربائي الذاتي ، وللتخفيف من الاستهلاك المذكور

يتوحد تخفيف الفياعات الهيدروليكيه المختلفة ويتم ذلك عن طريق استخدام العناصر والمسارات ذات المقاومة الاحفظ، والشكل ١-٩ يبين مثلاً لمختلف اشكال تنفيذ مسار الغازات ويتميز المخطط (٢٠١-٩) بانخفاض مقاومته الموضعية وتشكل المحسنات الحملية (المحمص الحلي)، المنطقة الاستقلالية، المؤفر، سفن الهواء، أكثر المقاومات الهيدروليكيه كبيرة على مسار غازات الاحتراق، ويمكن تخفيف المقاومة الإجمالية للمسار عن طريق تغيير السرعة الوسطية للغازات، إلا أن ذلك سيزيد من حجم الممرات الفارغة ومن استهلاك المعدن النبضي من أجل استطاعة واحدة)، ولتحديد السرعة المثلث تحسب المصاريق لعدة سرعات متوقعة وتتوافق السرعة المثلث مع المصاريق الحسابية الصفرى.



الشكل (١-٩) : احتمالات تنفيذ التفاف
تمر الغازات بزاوية 90°

تجربة مروحة الامتصاص غازات الاحتراق مشكلة بعض التخلخل في اعلى المودد ($P_c = 20 \div 40$)؛ ويتحول التخلخل المذكور دون تسبب غازات الاحتراق الى خارج مولد البخار، وفي حالة العاًءة مروحة،

تعمل

الامتصاص من المخطط يتطلب من غلاف الموقن ان يكون محكم دون شفقة لأن ضغط الغازات في هذه الحالة يزيد عن الضغط الجوي ، والدفع سيحدث في مروحة التهوية فقط .

ينتهي مسار غازات الاحتراق بالمدخنة التي تشكل ما يسمى بالسحب الطبيعي للمدخنة وللمدخنة وظيفة اخرى هي ابعاد غازات الاحتراق وتوزيعها ضمن دائرة كبيرة لتأمين حماية البيئة المجاورة . تنفذ المداخن من الاجر لارتفاعات التي لا تزيد عن 80 m ، ويتميز الاجر بمقاومته للاحتراق الحرارية وبانخفاض التكاليف ، ويستعمل البeton المسلح لارتفاعات العالية ، في بعض الاحيان تستعمل المداخن الفولاذية الرخيصة الثمن والسرعة الانشاء ، اما عيوب المداخن الفولاذية فتشخص في ضعف مقاومتها تجاه تأثير الغازات الكبريتية .

حساب استطاعة وانتاجية مراوح الامتصاص والتهوية

١- مروحة الامتصاص

تعطي استطاعة محرك مروحة الامتصاص N_f بالعلاقة التالية :

$$N_f = \frac{V_f \cdot H_f \cdot \beta_3 \cdot 10^{-3}}{\eta} \cdot K_w \quad (5-9)$$

حيث :

H_f - التخلخل المتشكل في مروحة الامتصاص ويساوي :

$$H_f = (\Delta H_c + \Delta h_v) \cdot \beta_f \quad (6-9)$$

Δh_v - التخلخل المترافق في أعلى الموتد ، kJ

V_f - استجاجية مروحة الامتصاص وتعطى بالعلاقة التالية :

$$V_f = \frac{V_g}{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot T_{f,p}} \quad m^3/sec. \quad (6-9)$$

β_1, β_2 - معاملات الاحتياط بالاستجاجية والمتخلخل المتشكل والاستطاعة

$$\beta_1 = 1.1 \div 1.2 \quad \beta_2 = 1.04 \div 1.1 \quad \beta_3 = 1.1$$

V_g - كمية غسارات الاحتراق ، m^3/m^3 ، m^3/kg

B_c - مصروف الوقود الحسابي m^3/sec او kg/sec

$T_{f,p}$ - درجة حرارة الغسارات عند مدخل المدخنة ، K

ω_f - مرتبود مروحة الامتصاص .

- مروحة التهوية

يحسب الضاغط الهوائي المتشكل في مروحة التهوية بالاستناد على

الحساب الایروديناميكي لمسار الهواء (ممرات الهواء ، مسخن الهواء

الحرارات ، الخ) ويؤخذ الضاغط الاعظمي اكبر بستة 10% ، اما ω_f

- ا) مروحة التهوية بالعلاقة التالية :

$$N_a = \frac{V_a \cdot H_a \cdot \beta_3 \cdot 10^3}{\gamma_a} , \text{ kw} , \quad (8-9)$$

حيث :

H_a - ضاغط مروحة التهوية ،

$$H_a = \Delta H \cdot \beta_2 + \beta_e \quad (9-9)$$

γ_a - مردود مروحة التهوية

V_a - انتاجية المروحة m^3/sec وتحسب بالعلاقة التالية :

$$V_a = \beta_1 \cdot V_a^0 (\alpha + \Delta \alpha) B_c \cdot \frac{T_a}{273} \cdot \frac{760 \cdot 133}{H_b} . \quad (10-9)$$

V_a - معاملات الاحتياط لكل من الانتاجية
ضاغط $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_e$
المروحة والاستطاعة $\beta_1 = 1.05, \beta_2 = 1.1, \beta_3 = 1.4$
 α - معامل فائض الهواء

ΔH - التسرب من مسار الهواء ويقبل مساوياً التسرب الى الطرف

الغازي ΔH_{gas}

T_a - درجة حرارة الهواء قبل المروحة ، ك

P_e - الضغط البارومترى ،

H_b -

٤-٩ حماية سطوح التسخين من التربات ولواء الرماد

٤ اتساخ سطوح التسخين

تنسخ سطوح المعاكس بالخبث مع استمرار الاستئمار، كما ويترسب الرماد وهباب الفحم على سطوح التسخين الحملية، ونتيجة لذلك تتحفظ الطاقة الحرارية المكتسبة في المعاكس وترتفع درجة حرارة الغازات الخارجة من الموقن وتخرق الانظمة الهيدروديناميكية الاعتيادية، ويمكن لكتل الخبث المتنامي على سطوح المعاكس ان تسقط ملحقة بالضرر بانواع اخرى واقعة في اسفل الموقن.

يشكل الرماد والهباب المترسب على السطوح الحملية طبقات عازلة لها تحفظ من الانتقال الحراري، وتزيد من مقاومة الهيدروليكي لمسار الغازات وتسرع الجريان الخارجي في مواقع معينة مما يزيد من اهتراء سطوح التسخين.

يتطلب الاستئمار الرشيد لعمل مولد الباخار ازالة تربات الخبث والرماد والهباب باستمرار وذلك لحماية سطوح التسخين من الاهتراء، والعمل على النظام الاقتصادي الامثل، وتشتمل اجهزة خاصة تقوم برش الباخار او الماء او كلاهما معا على سطوح المعاكس، هناك طرق اخرى تعتمد اسلوب هز سطح التسخين بترددات عالية او رش الكرباس الصنيرة المصنوعة من حديد الزهر.

٤ التقاط الرماد

تشكل عازلات الاحتراق المطروحة من مولد الباخار اخطارا جديه على البيئة، وتقوم لاقطات الرماد بتخلص جريان الغاز من الرماد المرافق

لها ، وبالتالي تخفف من التأثيرات الضارة لغازات الاحتراق ، وتقدر كفاءة لاقط الرماد بمعامل التنظيف؛ وهو عبارة عن كتلة الرماد الملقطة إلى الكتلة الواردة مع الغازات :

$$\eta = \frac{m_p}{m_c} , \quad (10 - 9)$$

تأخذ لاقطات الرماد اشكالا تصميمية متنوعة ويمكن تصنيفها على الشكل التالي :

١- الاقطات الميكانيكية :

٢- لاقطات التبليل ،

٣- المرشحات الكهربائية ،

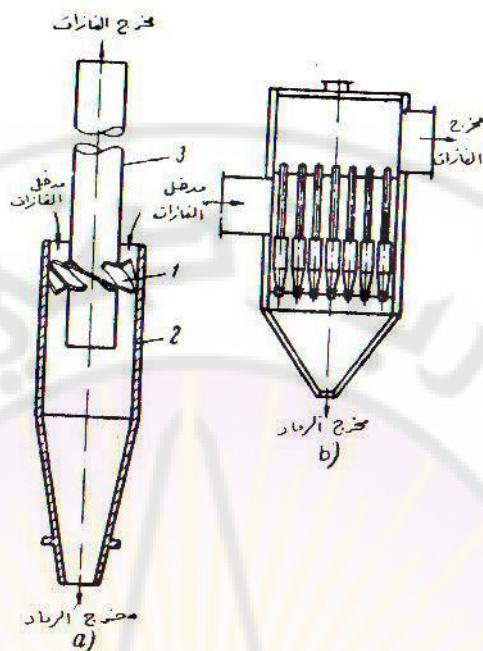
٤- الاقطات المركبة .

على الشكل ٢-٩ يبين مقطع طولي لاقط ميكانيكي مؤلف من عدد كبير من العناصر (الشكل ٢-٩، a) التي تقوم بتدوير التيار الغازي الرمادي بمساعدة جهاز التدوير ١ ، تهبط جزيئات الرماد إلى أسفل العنصر بينما تدور الغازات لتخرج من الانبوب ٣ .

يستخدم الاقط الميكانيكي كمرحلة أولى من مراحل التقاط الرماد ويتعلق معامله التنظيف بحجم جزيئات الرماد ويقترب بقيمه من

$$\eta = 80\%$$

يعتمد الاقط المبلل (الشكل ٢-٩) أسلوب تمرير الغازات خلال شبكة من القصبان الأفقيّة المغلقة بثنيّات مطاطية ٥ ، تبلل الأخيرة بواسطة الابواب ٤ الموضوعة ضمن انبوب ادخال الغازات المماس ٢ الموجود في أسفل الاقط ، يجري التقاط

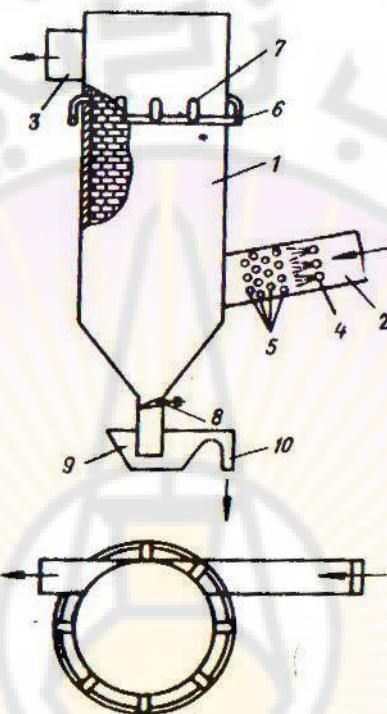


الشكل (٢٩) : **اللقط الدوامي**

٩ - عنصر الدوامة ٦ - بطارية الدوامات .

جزيئات الرماد المتبقية في الشريحة المائية الملائمة للسطح الداخلي من هيكل اللقط ١، وتقوم الابواق ٧ بعنف الماء وتشكيل الشريحة المائية ، يجمع الرماد من اسفل اللقط ويخرج الغاز المنظف من اعلاه ١، يساعد الادخال المماسي للفازات الى هيكل اللقط في دفع الغازات للحركة حسب مسارات لولبية صاعدة الى الاعلى، وتؤثر القوى الثابتة على جزيئات الرماد بصورة اكبر فتبتلل في الشريحة المائية ومن ثم تهبط الى الاسفل ويصل معامل التنظيف فيه الى $0,95 \div 0,9 = ?$ تعطي المرشحات الكهربائية نتائج جيدة في تحليص الفازات من

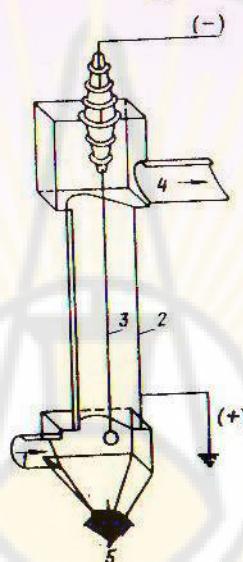
جزيئات الرماد ذات الابعاد الصغيرة ، ويصل معامل التنظيف فيها $\geq 98\%$ عند ابعاد الجزيئات $5 \text{ } \mu\text{m}$ ، ومع اردياد نسبة الجزيئات كبيرة الحجم ينخفض معاملها التنظيفي .



الشكل (٣-٩) اللقط النسادي .

- الهيكل مع الغلاف ، ٢- قنال الدخول ، ٣- قنال الخروج ،
- ٤- ابواق الفسيل ، ٥- شبكة القسان ، ٦- موزع الماء ،
- ٧- ابواق الرش ، ٨- صمام ، ٩- قفل هيدروليكي ، ١٠- مخرج الخليط المائي الرمادي .

يبين الشكل ٩-٤ مخططًا تمثيليًّا لعمل المرشح الكهربائي ، تمرر غازات الاحتراق من خلال أسطوانة يتضمن محورها على شاقل متوج ومتصل مع القطب السالب لمولد تيار مستمر، وتتصل الأسطوانة نفسها مع القطب الموجب ، تشحذ جزيئات الرماد المارة مع الغازات بتأثير الحقل الكهربائي المتشكل بين القطبين (يوضع فرق توتر عالٍ 9.15^4) وتنجذب الجزيئات المشحونة (إيجابيًّا) إلى القطب السالب والعكس .



الشكل (٩-٤) مخطط للمرشح الكهربائي .

- (١) مدخل الغازات ، (٢) القطب الترسبي ، (٣) القطب المتوج ،
- (٤) مخرج الغازات ، (٥) طرح الرماد المترسب .

وتنجذب الجزيئات المشحونة (إيجابيًّا) إلى القطب السالب المتوج ، يجري تعرية اقطاب المرشح للاهتزاز دورياً لتطهيرها من طبقات الرماد المترسبة التي

ضعف من فعالية المرشح .

* توضع المرشحات الكهربائية كمرحلة ثانية في مخطط عزل جزيئات الرماد

وتتندى حسب اتجاهات الغاز الافقية او الشاقولية .

* تتميز المرشحات السلكية بفعاليتها العالية وتتلخص عيوبها في ارتفاع ثمنها وكثرة حجمها ، تحتوي الواقط المركبة على لواء ميكانيكية تعزل الجزيئات الضخمة من الرماد وعلى مرشحات كهربائية تقوم بفصل جزيئات الرماد المقفرة .

٣-٩

ايقاد مولد البخار

* تتطلب عملية الايقاد تسخين كافة عناصر التجهيز اعتبارا من الحالة الباردة وحتى العاملة ، ويتحدد تسارع هذا الاجراء بقيمة الاجهادات الحرارية المسموح بها في اجزاء المعدن السميكة (ويمتطلب اتجاه حراري بين بعض عناصر المولد) ، وبدأ زمان الايقاد اعتبارا من لحظة تشغيل المراقبات الايقادية ، ولكن قبل ذلك يتوجب تنفيذ كافة العمليات التمهيدية الضرورية ومن ضمنها التأكد من جاهزية كافة الميكانيزمات للعمل وتجسيدها الصحيح .

(في البدء يتوجب تهوية الوقود ومجاري الغازات لتجنب امكانية حدوث الانفجار عند الاشعال (بسبب الغبار الفحمي المتبقى او الغازات الغازية للانفجار) ، وفي حالة العمل على الوقود الغازي او السائل او الطورب تجري عملية التهوية بواسطة كل من مراوح التهوية والامتصاص في آن معا ، وخلال خمسة او عشرة دقائق، وبالنسبة لأنواع الوقود الأخرى تجري عملية التهوية بواسطة مروحة الامتصاص التي تعمل خلال خمسة دقائق

على الأقل ، وبعد ذلك فقط تشغل الحرارات الایقادية ويسرع في تسخين عناصر مولد البحار .

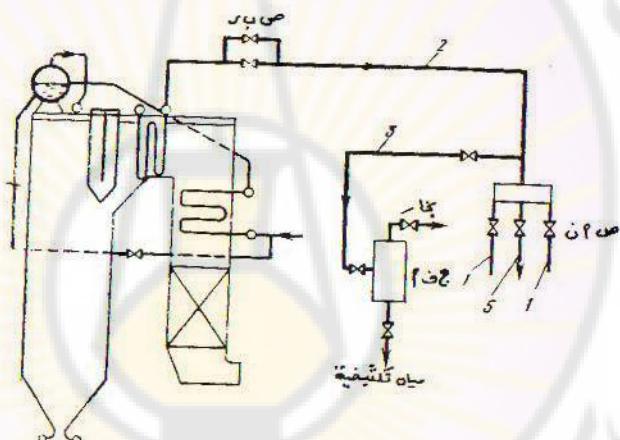
تجري عملية املاء الحطة بالمياه في حالة مولد البحار ذي الحلة قبل بدء التسخين (الشكل ٥-٩) .

وفي حالة الایقاد اعتبارا من وضعها البارد يجري املاء الحطة بالمياه الخلالية من الغازات ، والتي تكون درجة حرارتها 80°C ، وتملأ الحطة التي لم تبرد بعد (نتيجة لتوقف المولد عن العمل خلال فترة قصيرة) بالمياه التي لاختلف درجة حرارتها عن حرارة المعدن بأكثر من 40°C وعند الاملاء تفتح الصنابير الهوائية الواقعة في النقاط العلوية للاطارات الدورانية ، ويجري املاء الحلة حتى المستوى الاخفض فيها حيث ان التسخين المقابل سيؤدي الى رفع مستوى المياه فيها .

ولتجنب حدوث التواء القطاعات المعدنية بسبب تمددها الحراري يتوجب الحفاظ على التسخين المتوازن للسماعات ، ان ذلك يحدد سرعة تسخين جسم التشغيل بمعدل $60 \div 90^{\circ}\text{C}$ في الساعة (درجة اودرجة ونصف في الدقيقة) ، وتمثل سرعة ازدياد درجة حرارة الاشعاع ببيانها على شكل ازدياد الضغط في الحلة ، وتشغل عملية رفع حرارة جسم التشغيل من 30°C وحتى $350 \div 500^{\circ}\text{C}$ مدة ثلاثة او اربعة ساعات ، ويجري تنظيم سرعة ارتفاع درجة حرارة جسم التشغيل بواسطة التحكم بالانتاجية الحرارية للحرارات في الدور الاولى للایقاد عندما ينعدم دوران المياه الطبيعي في الاطار الدوراني تتحدد سرعة التسخين بعوامل الحفاظ على الحدود المسموح بها لتسخين معدن الحلة نفسها ، والمعلوم ان حرارة الجزء العلوي من الحلة ترتفع بسرعة كبيرة نتيجة لطاقة

تكاثف البخار، بينما تبقى الحرارة في الجزء السفلي منها محافظة على على مستواها الاولى ، ولا يسمح بازدياد الفرق الحراري بين الجزء العلوي والسفلي من الحلة باكثر من 40°

يجري تسخين انبوب امداد البخار الرئيسي وتبريد معدن المحمص في وقت واحد مع ارتفاع الضغط وعند وصول الضغط في الحلة حتى $0,6 \text{ MPa}$ يفتح خط جهاز الفصل الابعادي، يبرد البخار انبوب المحمص اولاً وبعد ذلك يقدم طاقته الحرارية الى انبوب امداد البخار وبسبب السماكة الكبيرة لجدرانه يحظر رفع سرعة التسخين فوق $1,5^{\circ}\text{C}$ في الدقيقة، ويجرى التحكم فيها بواسطة تصريف البخار خلال الانبوب .



الشكل (٥-٩) : مخطط ايقاد مولد البخاري (الحلة).

- ١- انباب نقل البخار في قسم العنتفات ، ٢- انبوب البخار الرئيسي ، ٣- خط الایقاد ، ٤- خط الدوران ، ٥- تصريف ، صب س - الصمام البخاري الرئيسي ، ج ف آ - جهاز الفصل الابعادي ، ص آ ن - صمامات انباب النقل .

في المرحلة الايقادية الاولية يكون تصريف البخار خلال الممحص قليلاً وكثافته ايضاً قليلة، ولا تزداد درجة حرارة الغازات في منطقة الممحص عن 600°C وذلك بسبب الامتصاص الحراري الكبير في حجرة الموقد، وهي لذلك لا تشكل خطراً على الانابيب في هذه المرحلة ومع ارتفاع درجة حرارة الغازات يرتفع تصريف البخار وكثافته ، ويجري تشغيل الحراقات الأساسية بعد تسخين الموقد بشكل جيد .

قبل البدء بتغذية المولد بالماء باستمرار يتوجب تأمين تبريد الموفر لتجنب تبخير المياه الموجودة فيه ، ويجري هذا الامر بمساعدة خط الدوران الذي يصل ما بين مدخل الموفر والحلقة .

بعد الانتهاء من تسخين انبوب الباخر ووصول الضغط الى المستوى الذي يقل عن الضغط في خط الباخر العامل بنحو $5,1 \text{ MPa}$ يجري اقلاع المولد بفتح الصمامات امام الخط ، وفي هذه اللحظة يسرع عمل الحراقات حتى يتقبل المولد الحمولة على نفسه ، بعد ذلك يغلق الخط الايقادي وخط الدوران، واذا كان الضغط في الحلقة اعلى منه في خط الباخر فان فتح الصمامات المفاجيء يؤدي الى حدوث الصدمة الهيدروليكيه الخطيرة، التي تترافق مع نقل قطرات الماء الى الممحص مما يؤدي الى تخريبه .

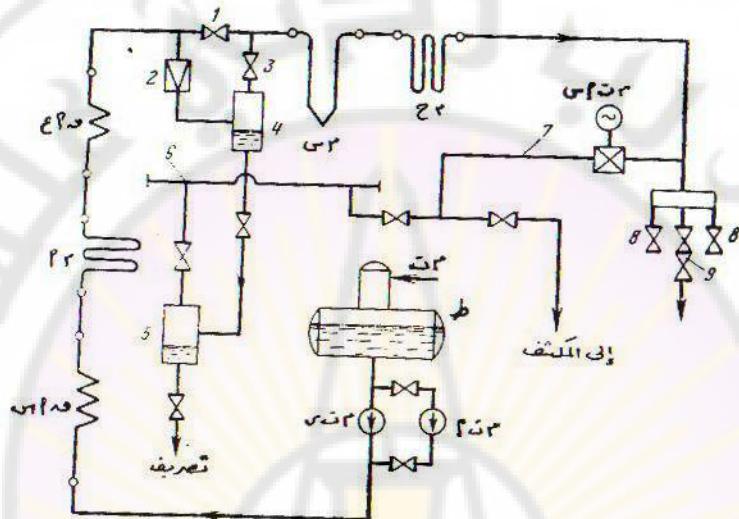
تتميز مولدات الجريان المباشر من حيث تصميمها بامكانية تسريع عملية الايقاد حيث لا تشغله اكثر من 40 ± 50 دقيقة ، والامر المميز لايقاد هذه المولدات هو ضرورة امدادها بنسبة 35% من تصريف / الماء آنذاك ، ولهذا السبب في المرحلة الايقادية الاولية لا تتمكن المياه من التبخر بشكل كامل بسبب الطرح الحراري الضعيف ، هذا مع العلم انها تمر على المنطقة التبخيرية الانتقالية ، ومعلوم انه يحظر

وصول المياه الى الجزء الحملي من المحمص والى انبوب امداد البخار بسبب خطير تشكل السدادات الهيدروليكيه في التفرعات السفلية من الانابيب .

ولتحقيق الشروط الفضوريه للايقاد يستخدم جهاز فصل البخار الداخلي (الشكل ٦-٩) ، وفيه يغلق الصمام الفاصل ١ عند الاقلاع فتصل المياه (وفيما بعد المزيرج البخاري المائي) الى جهاز الفصل الايقادي ولتأمين الضغط الحسابي المناسب في كل اجزاء المسار الواقعه قبل جهاز الفصل يستخدم الصمام التخفيضي ٢ الذي يمنع خرق النظام الهيدروديناميكي لحركة جسم التشغيل ضمن سطوح المعاكس ، ويجري تخفيض اضافي لضغط المياه في الممدد ٥ الذي تطرح منه المياه في بداية الايقاد الى خزان المياه المتكتافه المتتسخه ، وفيما بعد تنتقل الى المكثف التوربيني ، من الممدد يذهب البخار مع ضغط 240 kPa الى خط الاحتياجات الذاتية للمحطة .

يزداد ضغط البخار في مساره خلف جهاز الفصل مع مرور زمن الايقاد ويبرد البخار سطوح المحمص وفيما بعد يسخن انبوب امداد ومع ازدياد الحمولة الحرارية تنخفض نسبة المياه الواردة الى جهاز الفصل الايقادي . وتقوم المنشأة التخفيضية التبريدية السريعة باستقبال البخار في مرحلة الايقاد وذلك دون مروره على التوربينين الى ان تصل درجة حرارته الى المستوى المطلوب والمسموح به لتسخين جسم التوربينين (تزيد بمعدل 5°C عن حرارة الاشعاع) ، بعد ذلك يصل البخار من خلال الصمام ٨ الى التوربينين ويبدأ الاخير بالدوران وتبدأ الحمولة الكهربائية بالارتفاع وعند وصول الحمولة الى نسبة $30\% D_{\text{in}}$ ينقطع

وصول الماء نهائياً إلى جهاز الفصل ويزداد الضغط خلفه مقترباً من قيمته الاسمية . وبعد تساوي الضغط والوصول إلى درجة الحرارة الحسابية للبخار يفصل الخط الابعادي للممدد ويفتح الصمام الفاصل ١ وينتقل مولد البخار إلى نظام العمل العادي .



الشكل (٦-٩) : مخطط ايكاد مولد الجريان المباشر .

- الصمام الفاصل ، ٢- صمام الاضغاف ، ٣- صمام بخاري ، ٤- جهاز الفصل الداخلي ، ٥- المبرد الابعادي ، ٦- خط الاستهلاك الذاتي ، ٧- خط طرح البخار في مكثف العنتفة ، ٨- صمامات انسابيب النقل ، ٩- خط تصريف البخار ، ٧- طارحة الهواء، م ت ر، - مضخة التغذية الرئيسية ، م ت آ - مضخة التغذية الاقلاعية ، ق آ س، ق آ ع - قسما الاشعاع السفلي والعلوي ، م آ - المنطقة الانتقالية ، م س، م ح - الممحص الاستثنائي والحملبي ، م ت آ س - المنشأة التبريدية الاضعافية السريعة ، م ت - المياه التكتيفية .

مولادات البخار العاملة على الوقود النووي

١-١٠ المفاعلات الذرية

بأخذ الوقود النووي أهمية كبيرة في الظروف الراهنة وفي المستقبل كمصدر من مصادر الطاقة الضرورية لكافية اوجه حياة المجتمع ، ويحتوي اليورانيوم الطبيعي على ٩٩,٥٪ من نظائر اليورانيوم ذات العدد الكتلي ^{238}U بينما يحتوي فقط على ٠,٧٪ من كتلته على النظائر ^{235}U .

عندما تدق ذرة اليورانيوم ^{235}U بنيوترون واحد تحدث المعادلة النووية التالية :

$$^{235}\text{U} + n \rightarrow \text{شطري الانقسام} + \gamma n + \text{أشعة} \beta + \text{أشعة} \gamma + \text{الطاقة}$$

الحركية لنتائج الانشطار .

n = نيوترون

أ- عدد النيوترونات الشانوية الناتجة عن الانشطار

يتالف شطر الانقسامات من نوع ذرات اليود والكريبيتون ، ومن المعروف انه عند انشطار واحد غرام من يورانيوم $^{235}_{\text{U}}$ تطرح كمية من الطاقة تساوي $86,4 \cdot 10^6 \text{ KJ}$ ، هذا مع العلم ان نسبة ٨٥٪ من الطاقة المذكورة تنتجه عن الطاقة الحركية لنوافر الانشطار .

عند اصطدام نوافر الانشطار مع ذرات العناصر للموسط المحيط تنبع من شم تحول طاقتها الحركية الى طاقة الحركة الحرارية . هذا مع العلم ان النسبة العظمى لطاقة اشعة غاما تحول ايها الى طاقة حرارية .

يتبين اشتراك احد النيوترونات الثانوية الناتجة عن التفاعل السابق في حدوث تفاعل آخر مثل المعادلة النووية المذكورة ، وتحدث سلسلة من التفاعلات ذات الاندفاع الذاتي والتي يرمي فيها انشطار نواة واحدة من $^{235}_{\text{U}}$ الى انشطار واحدة اخرى مثلها وهكذا ، ويقسمون المفاعل النووي بوظيفة تنظيم عملية التفاعل النووي السابق .

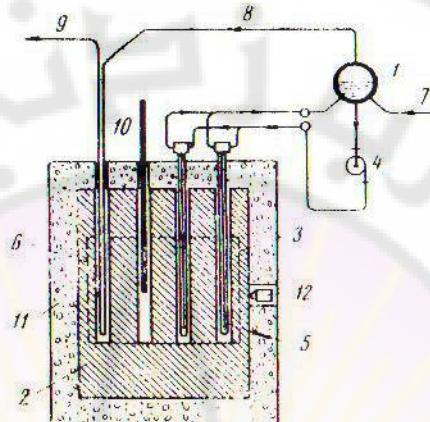
يملك النيوترون الناتج عن التفاعل النووي السابق طاقة قدرها $E_n = 5 \text{ MeV}$ ولهذا السبب فان احتمال حدوث التفاعل النووي السابق ضعيف للغاية نظراً للسرعة الكبيرة للنيوترون ، فإذا تمكنا من تخفيض طاقته الى مستوى طاقة الحركة الحرارية $E_n = KT = 0,025 \text{ eV}$ (K ثابتة بولتسمان) فاننا سنتمكن من رفع احتمال التفاعل الف مرة ولانتاج النيوترونات البطيئة تستخدمن الاجسام المبطئة وهي عبارة عن مركبات تحتوي على العناصر الخفيفة (الماء او الغرافيت) ، ولا تستطيع ذرات العناصر الثقيلة القيام بهذه الدور ذلك انه عند اصطدام

النيوترونات مع الذرات الثقيلة تنعكس عنها حسب الاصطدام المرن ، وبالتالي فهي لا تفقد شيئاً من طاقتها الحركية ، تشارك النيوترونات التي تصطدم بال أجسام المبطئة في حركتها الحرارية ويغادر قسم منها المفاعل بينما يعود قسم آخر إليه ، وبشكل عام يتسبب الجسم المبطئ في تخفيض نسبة النيوترونات الصائعة إلى الوسط الخارجي وفي تشكيل ما يشه الغيمة النيوتونية التي يكتسب اليورانيوم في كل لحظة عدداً من نيوتروناتها، بينما يعوض نفس العدد نتيجة التفاعل المتسلسل ، وتنتقل الطاقة الحرارية الناتجة عن التفاعل إلى السائل الذي يدور في الأنابيب وهو ما يدعى بالجسم الناقل للطاقة الحرارية . ويسمى المفاعل الذي يدور فيه الجسم الناقل ضمن الأنابيب بالتفاعل القنالي ، هناك نوع آخر من المفاعلات هو النوع الميكانيكي ، وفيه يتحرك الجسم الناقل للطاقة الحرارية بدون استخدام الأنابيب ، فهو يحيط بالعناصر الطارحة للطاقة الحرارية من كل جانب .

١- المفأعل النبوي القنالى

يحتوي المفاعل النووي القنالي (الشكل ١-١٠) على المنطقة النشطة التي تتتألف من الجسم الغرافيتى 2 الذي يتوضع فيه الجزء центральный من المفاعل ومن الاقنية التكنولوجية ، ويتألف القنال التكنولوجي (الشكل ٢-١٠) من العنصر الطارح للحرارة ومن الانابيب التي تستخدم لمرور الجسم الناقل للطاقة الحرارية الناتجة عن كبح نواتج الانشطار النووي . ويتوسط العنصر الطارح للحرارة مع

الأنابيب ضمن الهيكل الخارجي المشترك للقنال .



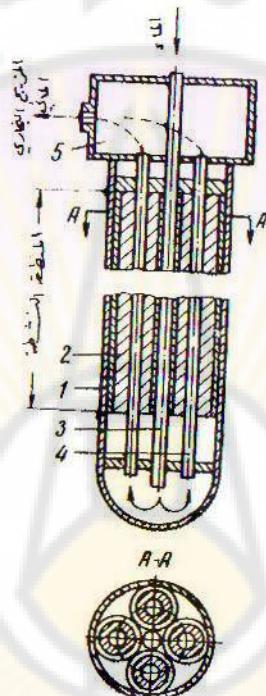
الشكل (١٠) : المفاعل القنالي .

- ١- هيكل ، ٢- الجسم الغرافيتي ، ٣- المنطقة النشطة ، ٤- مضخة الدوران القسري ، ٥- القنال التكنولوجي الغلياني مع العناصر الطارحة للحرارة ، ٦- القنال التكنولوجي التحمييمي مع العناصر الطارحة للحرارة ، ٧- امداد مياه التغذية ، ٨- خروج البخار المشبع ، ٩- خروج البخار المحمض ، ١٠- عمود التحكم ، ١١- جدران الحماية البيولوجية ١٢- حجرة التأمين .

تصنع العناصر الطارحة للحرارة من الوقود النووي الذي يكون على هيئة قضبان او أنابيب او صفائح ويغطى العنصر من الخارج بالكبسولة المعدنية التي تمنع الوقود النووي من الاختلاط مع الجسم الناقل للحرارة ويؤدي اهتراء الكبسولة الى خروج نواتج الانشطار والمواد المشعة الاخرى الى الاطار الخارجي للجسم الناقل للحرارة وهذا ما يؤدي الى ظهور الاخطار العديدة . ولذلك تصنع الكبسولة من المواد المقاومة

للمدا ولتأثير النشاط الاشعاعي ، تلتقم الكبسولة بحاكم على الوقود النووي وذلك لتأمين الانتقال الحراري الفعال ولتجنب الرفع الزائد لدرجة الحرارة ضمن الكبسولة .

ان النتائج الاستثمارية الحسنة لعمل المفاعلات الفلاينية ادى الى انتاج المفاعلات التي يمكن فيها تحفيض البخار في اقنية تكنولوجية خاصة (الشكل ٢-١٠) .



الشكل (٢-١٠) القنال التكنولوجي .

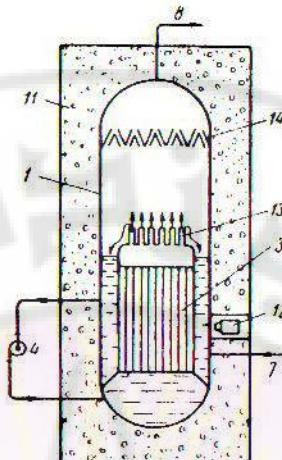
- ١- هيكل القنال ، ٢- البيورانيوم ، ٣- الانبوبة الهاابطة ،
٤- الانبوبة الصاعدة ، ٥- رأس القنال .

يجري تنظيم عمل واستطاعة المفاعل النووي بالاستعانة بأعمدة التحكم التي تتالف من المواد التي تمتلك قابلية عالية لامتصاص السنيوترونات (كادميوم ، بور) ، وتتوسط اعمدة التحكم داخل المنطقة النشطة، وعند رفعها إلى الأعلى تزداد سرعة التفاعل النووي التسلسي ، وهذا ما يرمي إلى زيادة استطاعة المفاعل ، ان تغير عمق اعمدة التحكم ينظم شدة التفاعل التسلسي وبالتالي تنظم الاستطاعة الحرارية المنطلقة ففي الوقت الذي يجري فيه احراق الوقود النووي تغير اعمدة التحكم عمقها بصورة اوتوماتيكية بمساعدة جملة كينيماتيكية ترتبط عبر مخطط الكتروني مع حجرة التأمين ١٢، وعند خروج المفاعل عن نظام عمله العادي إلى نظام خطر تهبط اعمدة التحكم الاضافية آلياً لايغاف عمل المفاعل .

٢- المفاعل النووي الغلياني

ويختلف من خزان فولاذى شاقولي يتراوح قطره بين 3×6 m (الشكل ٣-١٠) وتتوسط منطقته النشطة داخل الماء ، بحتوى المفاعل على اجهزة الفصل الدوامية لعزل الرطوبة عن البخار، وتقوم الممرات المعيقة المتواجدة في أعلى المفاعل بمتتابعة فصل البخار عن القطرات العالقة به .

ينحصر سقف استطاعة المفاعلات الميكيلية في المجال $400 \div 500$ MW وذلك بسبب الصعوبات التكنولوجية المتعلقة بتصميم الخزان العمودي ذي الاقطار الكبيرة ، بينما تتمتع المفاعلات الذرية الفنالية بأمكانيات كبيرة لزيادة استطاعتها ، تعمل المفاعلات الميكيلية في نظام الدوران الطبيعي والقسري معا .



الشكل (٣-١٠) : المفاعل الهيكلی .

- ١٢- انظر الشكل ٣-١٠ ، ١٣- اجهزة الفصل الدوامية ،
١٤- جهاز فصل البخار ذي الطبقة الشرائحية .

٢-١٠ الاجسام الناقلة للطاقة الحرارية

وتستخدم لامتصاص الطاقة الحرارية في المفاعل ومن ثم تنقلها إلى جسم التشغيل مباشرة أو إلى وسيط آخر، واهتمام المواد المستعملة الماء الغاز (غاز الفحم بمصورة خاصة) المركبات الهيدروكربونية (الديفينيل $C_{12}H_{10}$ ، $C_{18}H_{14}$) ، المعادن السائلة او سبائكها (الصوديوم او سبائكه مع البوتاسيوم ، البيزموت او سبائكه مسح الرصاص) .

ان اهم الصفات المطلوبة من الاجسام الناقلة هي :

- ١- الناقالية الجيدة والسعنة الكبيرة للحرارة ؟

٢- الاحتفاظ بالصفات الفيزيائية والكيميائية في ظروف التأشير

الأشعاعي :

٣- انخفاض درجة حرارة الانصهار (اقل من درجة الهواء الخارجي)

٤- امكانية التسخين حتى الدرجات العالية من الحرارة .

يمتلك الماء ناقلية جيدة للحرارة نسبيا ، وهو بالإضافة إلى ذلك ذو سعة حرارية كبيرة، ولكن رفع درجة حرارته يتطلب رفع مستوى الضغط فيه ، وعلى العكس من ذلك بالنسبة للناقل المعدني الذي لا يرتبط عامل رفع درجة حرارته مع مستوى الضغط فيه ، بالإضافة إلى ذلك فهو يتصرف بнакليته الحرارية العالية (معامل التوصيل الحراري فيه أعلى -

بعشرات المرات من نظيره للماء $\lambda_{H_2O} = 130$ ، وبالتالي

يكون الطرح الطاقي أكثر منه في حالة الماء. ومن ناحية أخرى فسان

استخدام الناقل المعدني السائل يتسبب في ظهور المعوقات التكنولوجية

العديدة المتعلقة بالاستثمار (مثلاً عند تشغيل المفاعل) وذلك بسبب

ارتفاع درجة انصهار المعدن (للمصوديوم مثلاً درجة الانصهار 98°C) و

تحقيق سبيكة Na (56 %) و K (44 %) تخفيف درجة الانصهار

حتى 28°C مع الاحتفاظ للمصوديوم بمعامل التوصيل ،

يتصرف الناقل العازي بامكانية رفع درجة الحرارة فيه إلى مستوى عالٍ ،

ولكن من ناحية أخرى فإنه يمتلك ناقلية منخفضة للطاقة الحرارية

وهذا ما يجعله قليل الفاعلية نسبيا ، ولهذا السبب يعتمد في المفاعلات

التي تستخدمه إلى رفع كثافته عن طريق زيادة الضغط العامل فيه ،

وكذلك ترفع سرعة جريانه ، وتستخدم المبادرات الحرارية ذات الانسابيب

المضلعة لزيادة سطوح التبادل ، إن زيادة كثافة وسرعة جريان الغاز

تتطلبان استخدام المراوح الضخمة التي تستهلك قدرًا كبيراً من الطاقة الكهربائية المنتجة في المحطة وللمقارنة نذكر أن ٥٦٪ من الطاقة المولدة في المحطة تذهب لتحريك المضخات التي تدور الناقل المائي بينما تستهلك نسبة ٢٠٪ من الطاقة المولدة لتحقيق نفس الهدف في حالة الناقل الغازي .

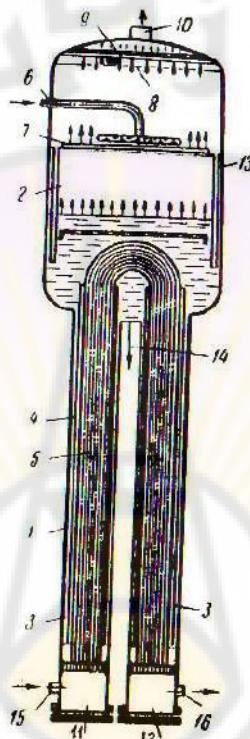
ومن الناحية الأخرى فإن الناقل الغازي يخفف إلى حد بعيد الخطر الاشعاعي الذي يحدث عند تسرب أو انفلات الجسم الناقل إلى الوسط الخارجي ، بينما يؤدي تسرب الناقل المائي أو المعدني إلى ظهور الأخطار الجسيمة المتعلقة بالأشعاع وب سابقة المفاعل بدون تبريد ، تتيح نوافل الحرارة الغازية والمعدنية تحفيض البخار إلى مستويات حرارية عظيمة على عكس الناقل المائي .

٣-١٠ مولدات البخار المستخدمة في محطات الطاقة الذرية

مولدات البخار ذات الناقل المائي

وهي عبارة عن خزان للتسخين تتوضع في داخله مجموعة من الانابيب الملتوية على شكل حرف U توضع بشكل يتوافق مع توضع حلقة المولد وتنتمي نهایات الانابيب المذكورة بلوحة الانابيب ، يصل الناقل المائي إلى حجرة الدخول (الشكل ٥-١٠ ، الوضعيّة ١١) ثم يخرج من الطرف الآخر للأنابيب ١٢ . يتم في مولد البخار نقل الطاقة الحرارية من الجسم الناقل للحرارة إلى جسم التشغيل ويداً يتولد البخار الربط في الخزان ولتحفيض نسبة الرطوبة داخله يجهز مولد البخار بأجهزة خاصة ومعقدة

لفصل الرطوبة ولغسل البخار الناتج، ذلك أن المواعيفات المطلوبة من البخار في حالة المفاعلات الذرية أعلى بكثير من مثيلاتها في حالة مولدات البخار العاملة على الوقود العضوي.



الشكل (٤-٤) مولد البخار دى الناقل المائي
 ١- مبادل حراري على شكل لـ وغلافه ، ٢- الحلة الشاقولية ، ٣- الجزء الهاابط ،
 ٤- القميص المعدني ، ٥- حزمة الانابيب ، ٦- دخول مياه التغذية ، ٧- جهاز
 غسل البخار ، ٨- جهاز فصل الرطوبة ، (الطريقة الشراثية) ، ٩- سقف استكمال
 البخار ، ١٠- خروج البخار ، ١١و١٢ - حجرات دخول وخروج الناقل المائي
 ، ١٣- انابيب مياه التغذية ، ١٤- طرح المياه زائدة الملوحة ،
 ١٥و١٦ - دخول وخروج الناقل المائي .

تنفذ انباب و مختلف عناصر الاطار الاولى (دورة الجسم الناقل) من الفولاذ المقاوم للصدأ ، وذلك للتخفيف من نسبة المواد المشعة التي يمكن ان تترسب على جوانب الاطار الداخلية والتي تشكل خطراً كبيراً على حياة العاملين في المحطة .

لتحفييف نسب الاستهلاك من المعادن الغالية الثمن ، يمرر الجسم الناقل داخل الانابيب بينما يمر جسم التشغيل في الفراغ بين الانابيب .

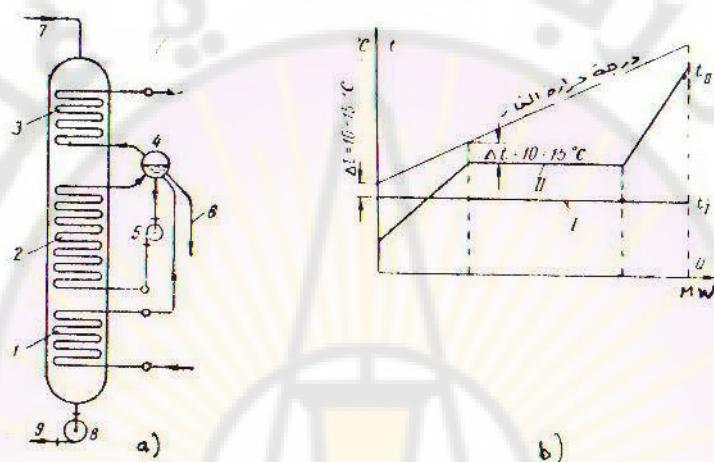
٢- مولدات البخار ذات الناقل الغازي

وهو عبارة عن خزان فولاذى (الشكل ٥-١٠) كبير تمر من خلاله عربضاً مختلف سطوح التسخين ، ومن المعروف ان معامل النقل الحراري من الغازات الى سطح التسخين ضعيف نسبياً ولكن نظافة الغاز تسمح بتسهيل التبادل الحراري عن طريق تخلص الانابيب التي يمر فيها جسم التشغيل وتمرر الغازات بسرعة كبيرة حول الانابيب وتحت ضغط مرتفع ا يتراوح الضغط في الطرف الغازي بين $3 \frac{1}{2} \text{ to } 4 \frac{1}{2}$ ا.

تتوضع سطوح التسخين داخل الخزان بشكل افقي ويُسبر البخار في وحدة التبخير في نظام الجريان القسري ، وعند استخدام الضغط المرتفع في طرف البخار تفضل مخططات الجريان المباشر .

يتيح استخدام الموفر والمحمص في مولدات البخار ذات الناقل الغازي رفع فعالية الانتقال الحراري والحاصل على بخار محمص (الشكل ٥-١٠) يبين على مخطط درجة الحرارة ΔT وكمية الحرارة Q تغير هذه الكميات بالنسبة للغاز ولجسم التشغيل - الماء ، المنحنى I يمثل درجة حرارة جسم التشغيل في حالة الاكتفاء بسطوح توليد البخار ، المنحنى II

يعكس وجود الموفر والمحمص الى جانب سطوح توليد البخار، من المقارنة بين المحننين نرى ان الموفر يزيد من الصافط الحراري t_5 بين جسم التشفيل والغاز في الطرف البارد ، كما ويمكن المحمص من رفع درجة حرارة البخار المحمص الى مستويات عالية .



الشكل (٥-١٠) مخطط ولد البخار ذي الناقل الغازي .

- ٩ - مولد البخار ، ٥ - مخطط ، $t - Q$ ،
- ١ - مسخن الماء ، ٢ - سطح البخار ، ٣ - محمص ، ٤ - الحطة
- ٥ - مضخة قسرية ، ٦ - أنبوب طرح المياه زائدة الملوحة ،
- ٧ - الغاز المسخن من المفاعل ، ٨ - مرودحة الدفع .

٣- مولدات البخار ذات الناقل المعدني

يتعرض الناقل الحراري المعدني عند مروره في المفاعل للتداamp;shy;سيط الكيميائي وللتلوث الاشعاعي ، وهذا ما أدى الى تعقيد مخططات

المبادلات الحرارية المستخدمة في تلك الحالة ولضمان الامان الصناعي للنفر العامل في المحطة وضعت مخططات محطات الطاقة ذات الاطار الثلاث حيث ينقل المعدن السائل الطاقة الحرارية عبر الاطار الاول الى المبادل الحراري المتواجد بين الاطارين الاول والثاني ، ومولد البخار عبارة عن مبادل حراري يجري في احد طرفيه الناقل الحراري الوسيطي (الاطار الثاني) بينما يجري المريج المائي البخاري في الطرف الاخر (الاطار الثالث) .
لقيت مولدات البخار ذات الناقل المعدني انتشاراً ضيقاً نظراً لارتفاع ثمنها ولتعقيد مخططاتها .

الفهرس

الفصل الأول تصنیف مولدات البخار و المخطط التقني
لانتاج البخار .

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1 | المخطط التقني لانتاج البخار |
| 4 | مولدات البخار وتصنيفاتها |
| 11 | المميزات الاساسية لمولدات البخار |

الفصل الثاني احتراق الوقود العضوي

- | | |
|----|-------------------------|
| 12 | انواع الوقود وتركيبه |
| 19 | مميزات الوقود العضوي |
| 19 | ١- الوقود المطب |
| 21 | ٢- الوقود السائل |
| 24 | ٣- الغاز الطبيعي |
| 27 | حرارة احتراق الوقود |
| 30 | عناصر نظرية الاحتراق |
| 31 | آ- احتراق الوقود القاري |
| 35 | ب- احتراق الوقود المطب |
| 37 | ج- احتراق الوقود السائل |

٣٩	حساب هواء الاحتراق والغازات الناتجة	٥-٢
٣٩	آ - حساب هواء الاحتراق للوقود الصلب والسائل	
٤١	ب - حساب هواء الاحتراق للوقود الغازي	
	ج - تركيب وكمية نواتج الاحتراق الشام	
٤٢	لـلوقود الصلب والسائل	
	د - تركيب وكمية نواتج الاحتراق الشام	
٤٧	لـلوقود الغازي	
٤٩	تسرب الهواء إلى مسار غازات الاحتراق	٦-٢
٥٦	انتالسي نواتج الاحتراق الغازية	٧-٢

الفصل الثالث الميزان الحراري لمولد البخار وفعالية الاحتراق

٥٩	معادلة الميزان الحراري	١-٣
٦٢	ضياعات الحرارة مع الغازات الخارجة	٢-٣
٦٦	ضياعات الحرارة لردة اعة الاحتراق الكيميائية	٣-٣
٦٨	ضياعات الحرارة لردة اعة الاحتراق الميكانيكية	٤-٣
٦٩	ضياعات الحرارة بسبب التبريد الخارجي	٥-٣
٧١	ضياعات الحرارة الفيزيائية مع الخبث	٦-٣
٧٢	مردود مولد البخار ومنشأة توليد البخار	٧-٣

الفصل الرابع اجهزة الابقاء

٧٥	اجهزه ابقاء الوقود الملمع	١-٤
----	---------------------------	-----

٢-٤	احينة ايقاد الوقود السائل والغازى	٨٨
٣-٤	اعداد المازوت والعاز الطبيعى	١٠٧

**الفصل الخامس اسس الحساب الهيدروليكي لمولدات البخار
والنظام الحراري لسطح التسخين**

١-٥	انظمة الجريان المائي البخاري	١١٢
٢-٥	مؤشرات الجريان المائي البخاري	١١٥
٣-٥	شروط تبريد معدن سطح التسخين	١٢١
٤-٥	اسس الحساب الهيدروليكي للجملة المفتوحة	١٣١
٥-٥	اسس الحساب الهيدروليكي للجملة المغلقة	١٤٢

الفصل السادس تصميم سطوح التسخين

١-٦	تصميم سطوح التسخين البخارية	١٦١
٢-٦	تصميم المحممات وتنظيم درجة حرارة التحبيس	١٦٥
٣-٦	التحكم بدرجة حرارة البخار المحمم	١٧٣
٤-٦	سطح التسخين ذات الحرارة المنخفضة	١٨٤

الفصل السابع اعداد المياه والنظام المائي لمولد البخار

١-٧	مواصفات الماء وتأثير الشوائب المتناثلة والمعلقة	١٩٦
٢-٧	اسس معالجة المياه	٢٠٠
٣-٧	مصادر اتساخ البخار	٢٠٤
٤-٧	طبيعة احلال الموارد في البخار	٢٠٧
		٢٩٢

٢٠٩	٥-٧ طرق تنقية البخار
٢١٨	٦-٧ النظام المائي لمولد البخار
	الفصل الثامن حساب الانتقال الحراري في مولد البخار
٢٢٤	١-٨ حساب الانتقال الحراري في غرفة الموقد
٢٢٥	٢-٨ حساب الانتقال الحراري في سطوح التسخين الحاملية
	٣-٨ حساب الانتقال الحراري في سطوح التسخين المستائرية
٢٥٠	٤-٨ مسائل وطرق وتسلسل الحساب الحراري
	الفصل التاسع معدات المسار الهوائي الغازى واقلاع مولد البخار
٢٦٠	١-٩ المسار الهوائي الغازى واختيار مراوح التهوية والامتصاص
	٢-٩ حماية سطوح التسخين من الترسيبات ولراقبة الرماد
٢٦٦	٣-٩ ايقاد مولد البخار
	الفصل العاشر مولدات البخار العاملة على الوقود النبوري
٢٧٧	١-١٠ المفاعلات الذرية
٢٨٣	٢-١٠ الاجسام الناقلة للطاقة الحرارية
	٣-١٠ مولدات البخار المستخدمة في محطات الطاقة الذرية
٢٨٥	٤٩٣

جامعة بغداد



مطبعة المحبة

سعر البيع للطالب ١٩٠ ل.س