مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية سلسلة العلوم الهندسية المجلد 15 (العدد 1) 1413-1993.

مقارنة بين مميزات العنفات الغازية المبردة بالهواء والبخار

الدكتـــــــور عبـــــدالله مرعشـــلي
مدرس في كلية الهندية الميكانيكية والكهربائية
جـــــــــــــامعة تشـــــــــرين

تمت دراسة نظرية لمميزات محطة غازية ذات شفرات مبردة بالهواء أو البخار ومن ثم اجراء مقارنة بين الاستطاعة والمردود في الحالتين وذلك باستخدام طريقة حديثة لذلك.

تم حساب العمل الذي تعطيه المحطة غير المبردة والمبردة بالهواء وايجاد الفرق بين العملين في المجال (1500K _1270) وبنفس الطريقة تم ايجاد المردود وقد وجد نتيجة لذلك أن سحب 1٪ من الهواء للتبريد يسبب زيادة في استهلاك الوقود قدره 0.52% ونقصان في الاستطاعة قدره 1,3% .

وفي القسم الثاني تمت دراسة عملية التبريد ببخار الماء على مميزات المحطة وقد تبين أن استبدال 1٪ من الهواء بالبخار يوفر زيادة في الاستطاعة قدرها 1,85% وزيادة في المردود قدرها 0,87%....

تؤمن هذه الدراسة امكانية مباشرة لتقدير تأثير التبريد بالهواء والبخار على مميزات المحطة دون اجراء دراسة تفصيلية لمنظومة التبريد. كما تشير الى فعالية استبدال الهواء بالبخار بهدف تحسين عملية التبريد وامكانية رفع درجة حرارة الغازات قبل العنفة بغية زيادة الاستطاعة.

المقدمة:

يعود سر التطورات الكبيرة التي حققتها العنفات الغازية من الناحية التصميمية الى رفع درجة الحرارة عند مدخل العنفة وبشكل يتناسب مع نسب الانضغاط في الضاغط حيث وصلت درجة الحرارة الى 1400K في المخططات الثابتة والى 1700K في النفاثة وأكثر، والتي تطابق نسب انضغاط تتراوح بين (25-10){مرعشلي 1986}.

ولكن تحقيق درجات الحرارة المرتفعة تلك لايمكن الوصول اليه الا باستخدام طرق فعالة لتبريد الأجزاء المعرضة للدرجات العالية.

الا أن استخدام الهواء المضغوط المسحوب من الضاغط كوسيط للتبريد يسبب نقصا في الاستطاعة والمردود الذي تعطيه المحطة، مما يقلل من الجدوى الاقتصادية المتوقعة من رفع درجة الحرارة{GELTSEV-1982}.

الهدف من البحث وطريقته:

يهدف البحث للتوصل الى علاقات رياضية بسيطة تمكن نظريا من بيان تأثير تبريد الشفرات على مردود المحطة واستطاعتها. وذلك عند استعمال الهواء كوسيط للتبريد أو لدى استبداله بخار الماء به. تمكن تلك العلاقات من تقدير تأثير عملية التبريد دون اجراء حسابات تفصيلية لمنظومة التبريد وهذا ما يجعل للبحث أهمية خاصة تتجلى في المراحل الأولى للتصميم عندما تتولد الحاجة الى تحديد الأبعاد الرئيسية لمنظومة التبريد.

للحصول على العلاقات المطلوبة يتم حساب العمل والمردود الذي تعطيه المحطة غير المبرد. ومن ثم ايجاد الفرق بينهما نسبة الى مميزات المحطة الغير مبردة وبنفس الطريقة يتم حساب ذلك نسبة للبخار بعد استبدال الهواء به.

ان الأسباب المذكورة أعلاه دعت الباحثين الى التفتيش عن وسائط أخرى للتبريد لا تؤثر سلبا على أداء المحطة وفعاليتها. وقد وجد أنه من الممكن استعمال الماء أو بخار الماء لما يتمتعان به من مميزات فيزوحرارية جيدة.

ولكن استعمال الماء يسبب تعقيدا كبيرا في تصميم المحطة وهذا غير مرغوب فيه بالنسبة للعنفات. أما بخار الماء فيشكل حلا وسطا بين الماء والهواء لأنه لايحتاج الى تغيرات تصميمية كبيرة أضف الى كون مميزاته الحرارية أفضل بكثير منها للهواء. كما أنه يحسن من أداء المحطة من الناحية الاقتصادية ومن ناحية الاستطاعة. وهذا ما سندرسه في هذا المقال حيث سنبين تأثير التبريد بالهواء والبخار على استطاعة

المحطة ومردودها.

تعطى قيمة العمل الممكن توليده من المحطة غير المبردة بالعلاقة المعروفة:

$$H = (1+g_T)C_{Pg}.T_3\left(1-TT_T^{-\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right).\eta_T - C_{Pa}.T_1\frac{TT_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{\eta_c} \quad \text{-1}$$

حيث g_f - الاستهلاك النوعي للوقود في المحطة (استهلاك الوقود منسوبا الى تدفق الهواء الكلي).

C_{pg} , C_{pa} - الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت للهواء والغازات T1 , T3 درجتي حرارة الغازات عند مدخل العنفة والهواء عند مدخل الضاغط.

TT_c , TT_T- نسبتي التمدد في العنفة والانضغاط في الضاغط η_C, η_T المردود الايزونتروني للعنفة والضاغط على التوالي.

سنرمز الى $\frac{\gamma-1}{\gamma}$ بـ m.

أما قيمة العمل الممكن توليده من المحطة عند تبريدها بالهواء المضغوط فيساوي:

$$H_c = (1+g_t-g_a).C_{Pg}.T_3(1-TT_T^{-m})\eta_T^e - C_{pa}.T_1.\frac{TT_c^m-1}{\eta_c} - \Delta H_T + g_T\Delta H_c \quad \textbf{(2)}$$

حيث g_a- التدفق النسبي لوسيط التبريد (نسبة تدفق الهواء المسحوب للتبريد الى تدفق الهواء الكلي المار عبر الضاغط).

ΔH_Tــ الضياعات الترموديناميكية للعمل. ΔH_C العمل الناتج عند تمدد وسيط التبريد في العنفة.

تعتبر الضياعات الترموديناميكية قسما من كمية الحرارة المسحوبة من الغاز والمقدمة الى وسيط التبريد q_c ويتم حسابها بالعلاقة:

$$\Delta H_T = (1+g_f-g_a)l.q_a$$

حيث q_a كمية الحرارة في منظومة التبريد، عامل ضياع العمل والذي كان من الممكن أن يتحول الى عمل مفيد.

ان كمية الحرارة q_a تتعلق بدرجة الحرارة T_3 ودرجة حرارة السطح المبرد T_W وحسابها يتطلب اجراء دراسة تفصيلية لمنظومة التبريد.

لذلك من الممكن الاعتماد على (ARCENEV 1978) لتحديد قيمتها كما في الشكل (1) الذي يعطي قيمتها النسبية بالعلاقة:

$$\bar{q}_a = \frac{q_a}{C_p(T_3 - T_W)}$$

عامل ضياعات العمل $l = \frac{\Delta H_a}{q_a}$ يمكن حسابه من العلاقة

$$l = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_{4a})}{q_a}$$

حيث T_4 , T_{4a} هما درجتا حرارة الغازات في نهاية عملية التمدد للعنفة المبردة وغير المبردة.

واذا تم ادخال درجة حرارة اعتبارية ةالتي عندها تسحب الحرارة T_4 فانه حسب (ARCENEV.1978) يمكن أن نكتب

$$T_{4a} = T_4 . EXP\left[1 - \frac{q_a}{C_p . T_q}\right]$$

بالتعويض واجراء تحويل بسيط بمساعدة العلاقات الايزونترونية بين النقطتين 4,3 نجد:

$$l = 1 - \frac{T_4}{T_q} = 1 - \frac{T_3}{T_q}\left[1 - \left(1 - \overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T\right]$$

أما درجة الحرارة T_q فتساوي

$$T_q = T_3 \frac{n-1}{n}(T_3 - T_W)$$

حيث n عدد صفوف الشفرات المبردة وهي تساوي إلى 1 عندما تكون درجة الحرارة T_3=1200-1223 K وإلى 2 عندما T_3=1290-1323 K وإلى 3 عندما تكون T_3=1423-1473 K .

ان قيمة العمل الناتج عن تمدد وسيط التبريد داخل العنفة ΔH_C يتم حسابه بمساعدة العلاقة:

$$\Delta H_C = C_{Pa} . T_{3a}\left[1 - \overline{TT}_a^{-m}\right]\eta_T^{a'}$$

T_{3a} – درجة حرارة دخول وسيط التبريد إلى العنفة.

TT_a – نسبة انخفاض ضغط وسيط التبريد في العنفة.

$\eta_T^{a'}$ – مردود عملية تمدد وسيط التبريد في مجرى العنفة.

$$T_{3a} = T_1\left[1 + \frac{\overline{TT}_C^{m} - 1}{\eta_C} + \frac{q_a}{C_p T_1 g_a}\right]$$

$$T_a = \left[\frac{1}{1 - \left\{\frac{T_3}{T_g}\left[\left(1 - \overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T\right]\left(1 - \frac{q_a}{C_p . T_g}\right)\right\}\frac{1}{\eta_T}}\right]^{\frac{1}{m}}$$

T_1 – درجة حرارة دخول الهواء إلى الضاغط

T_g – درجة حرارة شرطية تساوي

إلى:

$$T_g = T_q - \frac{1}{n}(T_3 - T_W)$$

ان العلاقة الواردة أعلاه تمكن من حساب منظومة التبريد بالهواء للعنفات الغازية ذات الدارة المفتوحة.

كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود من حجرة الاحتراق للعنفة غير المبردة.

$$Q = (1 + g_f) C_{Pg} . T_3 - C_{Pa} . T_2$$

أما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود في حجرة الاحتراق للعنفة المبردة فتساوي:

$$Q_a = (1 + g_f + g_a) C_{Pg} . T_3 - (1 - g_a) . C_{Pa} . T_2 \quad (3)$$

T_2 – درجة حرارة الهواء بعد انضغاطه في الضاغط.

$$B = \left[1 - \frac{C_{Pa} . T_{3a} \left(1 - \overline{TT}_a^{-m}\right)}{C_{Pg} . T_3 \left(1 - \overline{TT}_T^{-m}\right)} + \frac{l . q_a \left(1 + g_f - g_a\right)}{g_a . C_{Pg} . T_3 . \eta_T \left(1 - \overline{TT}_T^{-m}\right)} \right] \quad (6)$$

TT_a- نسبة الانضغاط لوسيط التبريد

q_a كمية الحرارة المطروحة نتيجة للتبريد l عامل ضياع العمل.

وبذلك تصبح قيمة مردود العنفة غير المبردة:

$$\eta = \frac{H}{Q}$$

وقيمته للعنفة المبردة:

$$\eta_a = \frac{H_a}{Q_a} \quad (4)$$

ولدراسة تأثير التبريد على قيمة الاستطاعة نطرح العلاقة 1 من العلاقة 2 وتقسيم الناتج على 1 أي:

$$\overline{\Delta H_a} = \frac{H_a - H}{H}$$

فنحصل على $\overline{\Delta H_a} = g_{a'} \frac{\beta}{\varphi}$

حيث

φ- عامل العمل المفيد ويساوي الى $\frac{H_a}{H_T}$ ، H_T العمل الناتج عن تمدد الغازات في العنفة.

η_T – مردود العنفة.

ملاحظة: الحرف الصغير الملحق بكل رمز يشير الى: a للهواء، T للعنفة، g للغاز، C للضاغط.

عندما تزداد درجة الحرارة T_3 بتزايد نسبة الانضغاط TT_C خطيا (وهو التغير الملاحظ في أغلب المحطات الغازية) نجد أن قيم العاملين β و φ تبقى ثابتة تقريبا (الشكل 2) فعند الحسابات التقديرية لتأثير الهواء المسحوب من الضاغط للتبريد على استطاعة المحطة يمكن أخذ قيمة العامل B بحدود 0,64 و φ =0,48 ففي هذه الحالة يمكن تقدير ضياعات الاستطاعة بالعلاقة:

$$\overline{\Delta H_a} = 1,3.g_a \quad (7)$$

أي أن سحب 1٪ من الهواء المضغوط يسبب نقصا في الاستطاعة قدره 1.3%. وهذا ما يمكن ملاحظته من الشكل (3) الذي يعطي الفرق بين عمل المحطة المبردة بالهواء والمحطة غير المبردة.

أما لتقدير تأثير التبريد بالهواء على المردود فسنستخدم نفس الطريقة المذكورة أعلاه:

$$\overline{\Delta\eta_a} = \frac{\eta - \eta_a}{\eta} = g_a.A \quad (8)$$

حيث A عامل يساوي الى

$$A = \frac{(1 - TT_T^{-m}.B.\eta_T/\eta_T^a - \left[1 - \frac{C_{Pa}}{C_{Pg}}\left(1 + \frac{TT_C^m - 1}{\eta_C}\right)K\right]}{\left(1 + g_f - g_a\right)\left[1 - \frac{C_{Pa}}{C_{Pg}}.\tau\left(1 + \frac{TT_C^m - 1}{\eta_C}\right)\left(\frac{1 - g_f}{1 + g_f - g_a}\right)\right]} \quad (9)$$

حيث $\tau = \frac{T_1}{T_3}$

لقد دلت الحسابات التي أجريت على قيمة العامل A أن تغيره طفيف مع تغير درجة الحرارة T_3 الشكل (2) لذلك يمكن اعتبار قيمته ثابتة وتساوي 0.52 وعليه:

$$\overline{\Delta\eta_a} = 0,52.g_a$$

تدل هذه العلاقة على أن سحب 1% من الهواء المضغوط للتبريد يسبب زيادة في استهلاك الوقود قدره 0.52% أو انخفاضا في المردود يساوي لتلك القيمة.

مما سبق نلاحظ أن هناك تناسبا طرديا

بين كمية الهواء المسحوبة للتبريد وبين انخفاض المردود والاستطاعة هذا يدل على أن الاستمرار بسحب الهواء للتبريد عند درجات الحرارة المرتفعة يسبب نقصا كبيرا في الاستطاعة والمردود مما يؤدي الى تلاشي الزيادة الناتجة عن رفع درجة الحرارة عند مدخل العنفة.

وهذا الوضع دفع الباحثين للتفتيش عن وسيط آخر للتبريد يحافظ على نفس مميزات العنفة دون الحاق تغيرات تصميمية في منظومة التبريد. مثل هذا الوسيط يمكن استخدام بخار الماء مثلا والذي يمتاز بسعة حرارة أعلى منها بمرتين للهواء.

لنسحب مميزات المحطة الغازية المبردة ببخار الماء الذي يمكن توليده ببساطة من مولد بخار أو مرجل يركب بعد العنفة ومن بعدها يدفع البخار الى العنفة بواسطة مجاري خاصة للتبريد.

الاستطاعة النوعية(العمل) للعنفة المبردة بالبخار يعطى بالعلاقة:

$$H_S = \left(1+g_f\right)C_{Pg}.T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T^a - C_{Pa}.T_1\frac{\overline{TT}_C^{-m}-1}{\eta_C} - \left(1+g_f\right)l.q_a + d\Delta H_C \quad (11)$$

حيث d- الاستهلاك النوعي لبخار الماء ويساوي الى تدفق البخار المار خلال العنفة منسوبا الى تدفق الهواء الكلي عبر الضاغط.

كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود في حجرة الاحتراق تساوي:

$$Q_S = \left(1+g_f\right).C_{Pg}.T_3 - C_{Pa}.T_2 \quad (12)$$

لتقدير الزيادة في الاستطاعة الناتجة عن استخدام البخار كمبرد نطرح العلاقة 2 من العلاقة 12 فنجد:

$$\Delta H_S = g_a.C_{Pg}.T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T^a\left[1+\frac{d}{g_a}\frac{T_{3S}\left(1-\overline{TT}_a^{-m}\right)}{T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right)} - \frac{C_{Pa}.T_{3a}\left(1-\overline{TT}_a^{-m}\right)}{C_{Pa}.T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right)}\right] \quad (13)$$

اذا رمزنا للقيمة داخل القوس المربع بـ C نجد:

$$\Delta H_S = g_a.C_{Pg}.T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T^a.C \quad (14)$$

وبما أن قيمة عمل التمدد في العنفة يساوي:

$$H_T = C_{Pg}.T_3\left(1-\overline{TT}_T^{-m}\right).\eta_T^a$$

فتصبح العلاقة بالشكل:

$$\Delta H_S = g_a . H_T . C$$
$$\overline{\Delta H_S} = \frac{\Delta H_S}{H_S} = g_a . C \frac{H_T}{H_S} = g_a \frac{C}{\varphi} \quad (15)$$

لقد دلت الحسابات على أن قيمة العامل C لاتتغير كثيرا مع تغير درجات الحرارةT3 في المجال T_3=1273-1500 K وقيمته تساوي 0.89 أما φ فتساوي 0.48 (الشكل2) ومنه:

$$\overline{\Delta H_S} = 1,85 . g_a \quad (16)$$

وهذا يدل على أن زيادة الاستطاعة تتناسب أيضا مع كمية الهواء المسحوب للتبريد مما يدل على أن استبدال الهواء المضغوط ببخار الماء يعطي ربحا قدره 1.85%لكل 1٪ من ذلك الهواء. لاحظ الشكل (5) الذي يعطي علاقة العمل بدلالة درجات الحرارة T_3.

أما الربح في المردود (التوفير في الوقود) فيمكن تقديره بالعلاقة:

$$\overline{\Delta\eta_S} = \frac{\eta_S - \eta_a}{\eta_S} = g_a \left[\frac{(1 - \overline{TT_T^{-m}})\eta_T \frac{C}{\eta_S} - \left[1 - \frac{C_{Pa}\tau}{C_{Ps}} \left(1 + \frac{\overline{TT_C^m} - 1}{\eta_C} \right) \right]}{(1 + g_f - g_a) \left[1 - \frac{C_{Pa}}{C_{Ps}} . \tau \left(1 + \frac{\overline{TT_C^m} - 1}{\eta_C} \right) \left(\frac{1 + g_f}{1 + g_f - g_a} \right) \right]} \right] \quad (17)$$

يمكن تبديل القيمة داخل القوس المربع بـ D فالعلاقة 17 تصبح

$$\overline{\Delta\eta_S} = D . g_a$$

وقيمة العامل D يمكن افتراضها ثابتة من أجل الحسابات التقريبية ويساوي الى 0.87 الشكل(2) وذلك بعد حساب قيمتها على عدد من المحطات لذلك

$$\overline{\Delta\eta_S} = 0,87 . g_a \quad (18)$$

وتشير هذه العلاقة على أن نسبة التوفير في الوقود نتيجة لاستبدال الهواء بالبخار تتناسب مع تدفق وسيط التبريد. أي أن استبدال 1٪ من بخار الماء بالهواء يعطي وفرا في استهلاك الوقود 0.87%.

SUMMARY

"Comparison between the characteristics of Gases turbine are cooled by steam and air."

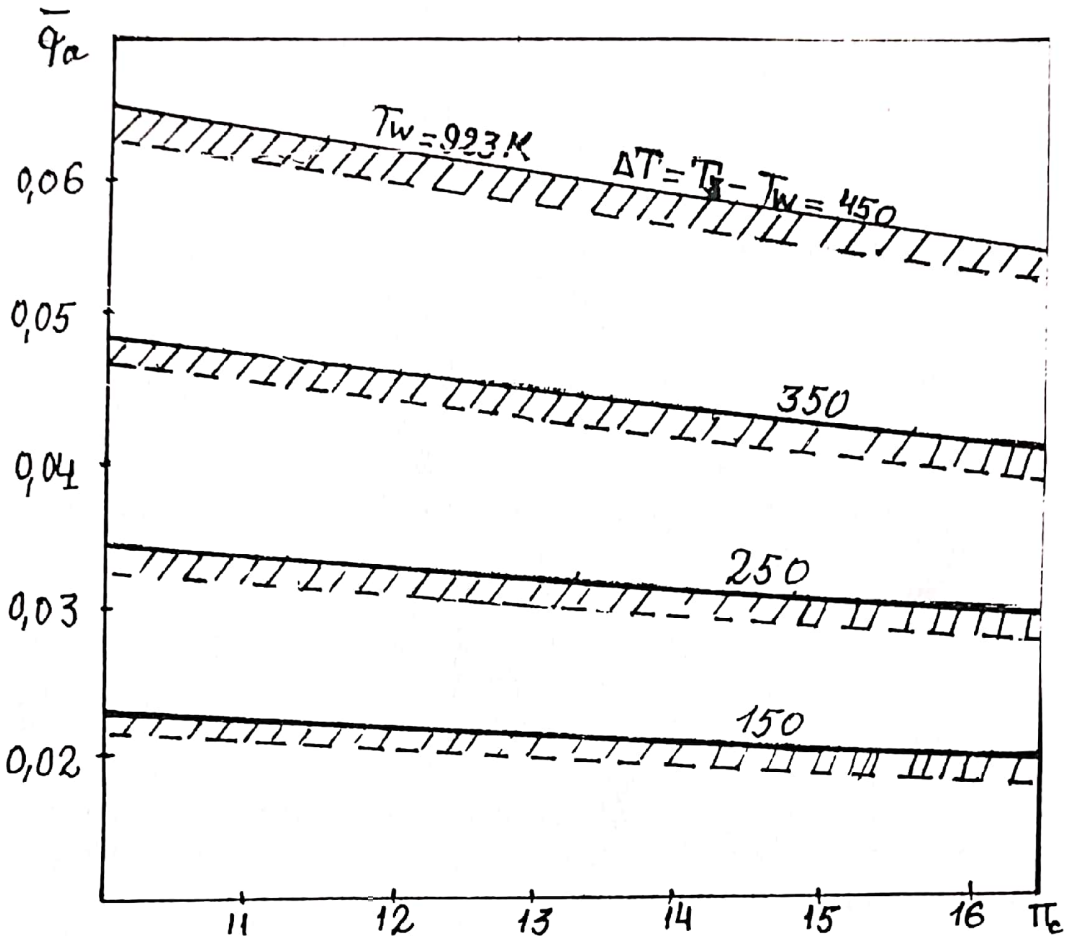
I produce here a theoritical study of gases turbine station chracteristics with a blades cooled by steam and air, and comparaison between the work and efficiency (ΔTT, $\Delta\eta$).

I have calculated the work of the uncooled station and the cooled one with air. I ve reached to the difference between the two values of the ΔH , in (1270-1500 K). In the same way I've reached to efficiency.

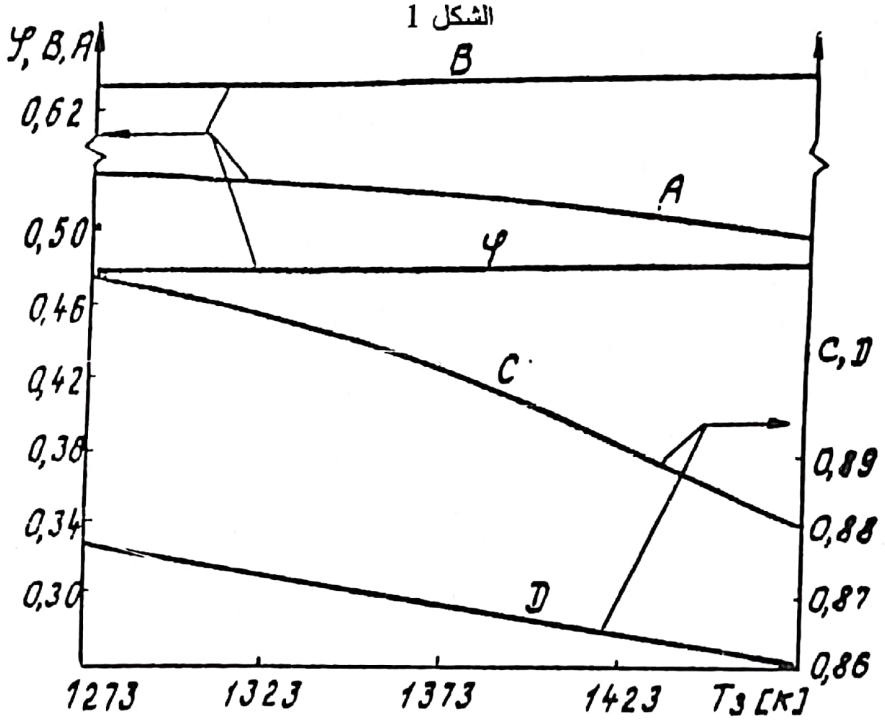
As a result of the above mentioned, pumping of %1 for cooling leads to an incrase of consumption of fuel about %,52 and reduce in work %1,3.

I ve studied cooling steam for station characteristics and reached to that cooling gives an increase of work %1,85 and an increase of efficiency for %1 cooling steam.

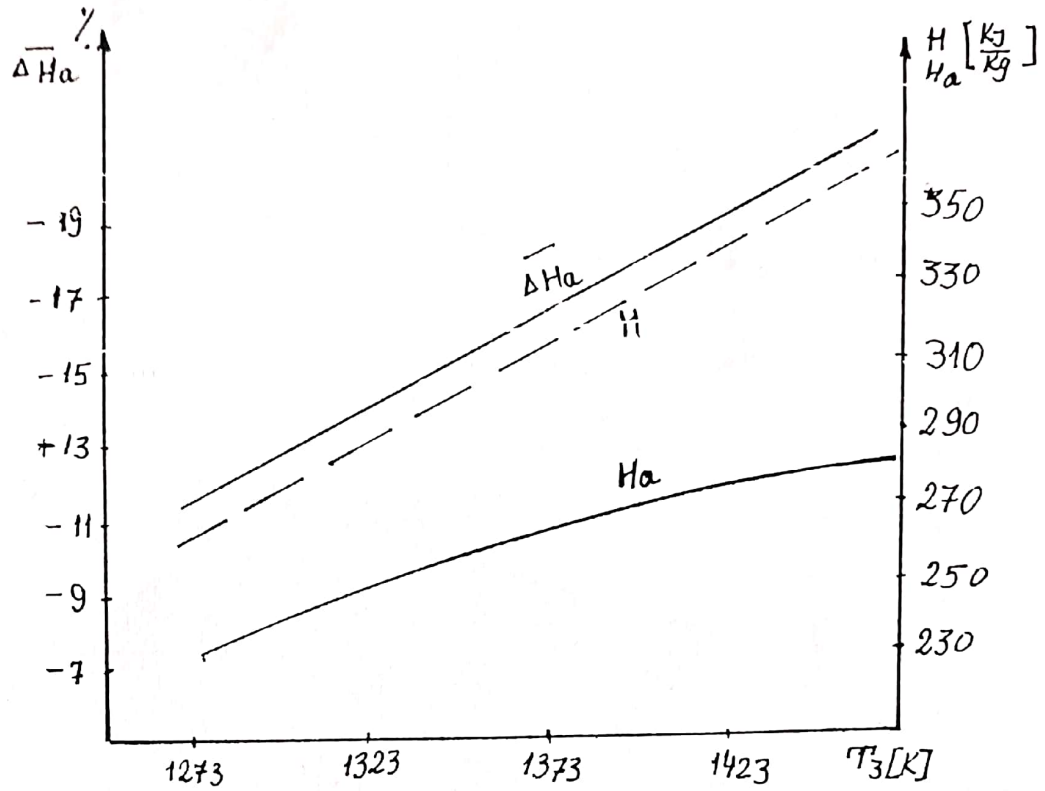
This study gives a direct ability for assuming the effect of cooling by air and steam, also this study produces the ability increasing the gases temperature at nozzel for best work.



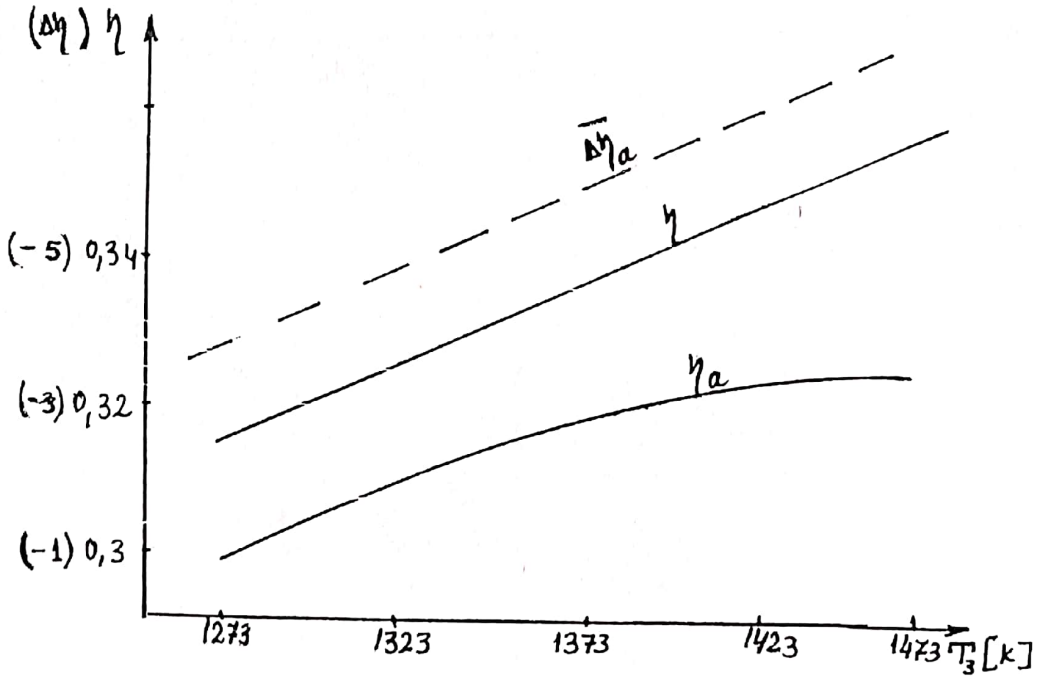
الشكل 1



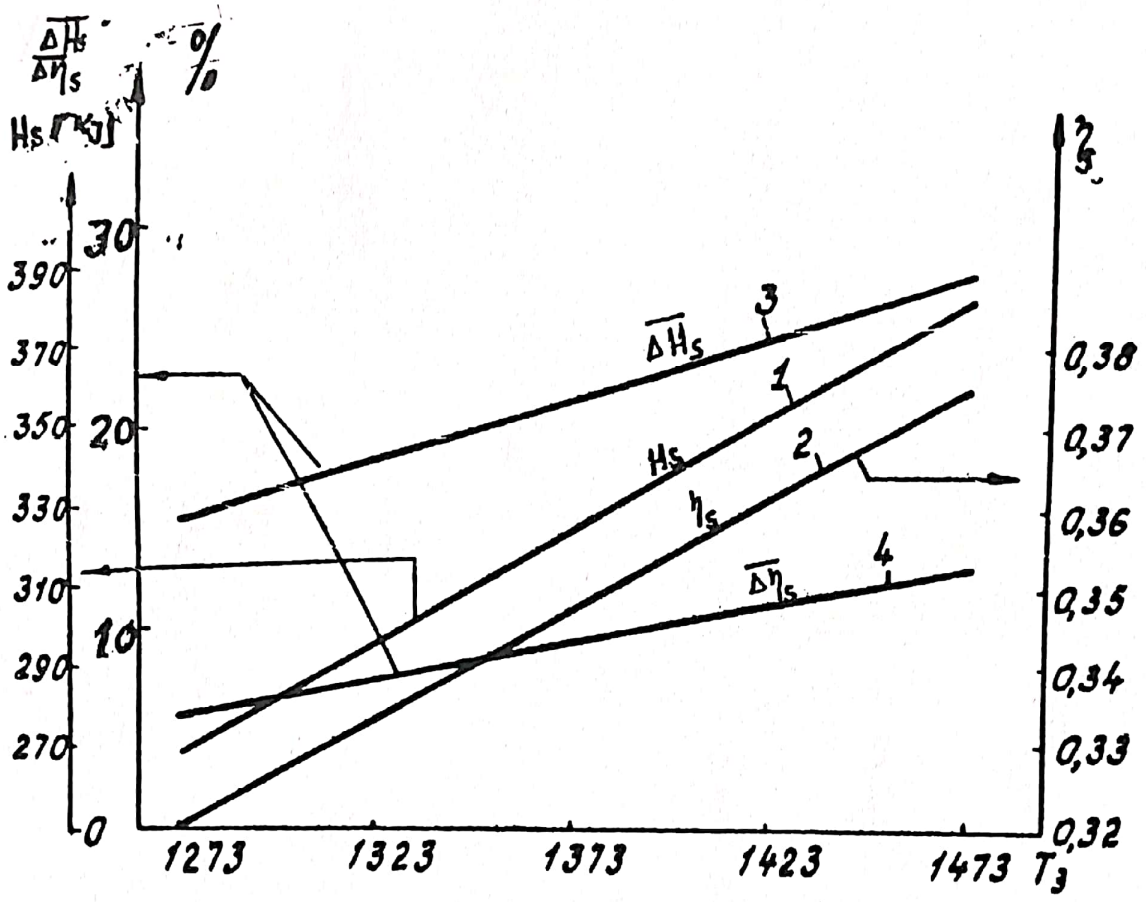
الشكل 2



الشكل 3



الشكل 4


%
Hs
390
370
350
330
310
290
270
0
30
20
10
1273
1323
1373
1423
1473
T_3
$\overline{\Delta H_s}$
3
1
H_s
2
η_s
$\overline{\Delta \eta_s}$
4
0,38
0,37
0,36
0,35
0,34
0,33
0,32

الشكل 5