جامعة الموصل
كلية الهندسة

# تصميم مولدة بخار باسترجاع الحرارة وتطبيقاتها على وحدات محطة القيارة الغازية

**وليد صالح محمد الجبوري**

رسالة ماجستير علوم في الهندسة الميكانيكية قوى حرارية

بإشراف

الأستاذ المساعد

**د. عبد الرحمن حبو محمد الحبو**

1442 هـ
2021 م

**الخلاصة**

يتضمن البحث الحالي دراسة نظرية لتصميم نظام مولد بخار لاسترداد الحرارة ثنائية الضغط لوحدة توليدية بسيطة اعتماداً على الخصائص الحرارية لغازات العادم الخارجة من وحدة غازية بسيطة ذات قدرة إنتاج تصل إلى (125 ميغاواط) مثل الوحدات الغازية البسيطة في محطة القيارة. أجري البحث على أربع مراحل كانت المرحلة الأولى هي تقييم أداء الوحدة الغازية في حالة حدوث زيادة في درجة حرارة المحيط الخارجي للوحدة الغازية لتشمل قدرة التوليد والكفاءة الحرارية واستهلاك الوقود النوعي ودرجة حرارة غازات العادم وركزت المرحلة الثانية على إيجاد العوامل التشغيلية المناسبة لعمل منظومة توليد البخار بإيجاد الضغط التصميمي المناسب للبخار المتولد من مرحلة الضغط العالي ومرحلة الضغط المنخفض عندما تعمل الوحدة الغازية في ظل ظروف جوية قياسية (1 بار و15 درجة مئوية) وتضمنت المرحلة الثالثة إيجاد التصميم الهندسي للمبادلات الحرارية في منظومة توليد البخار التي شملت كلاً من (المقتصد والمبخر والمحمص) للمرحلتين كلتيهما (مرحلة الضغط العالي ومرحلة الضغط الواطئ)، اعتمادًا على معاملات انتقال الحرارة للغاز ومائع التشغيل، بينما في المرحلة الرابعة والأخيرة تم تصميم منظومة توليد البخار واختبرت عندما تغيرت قدرة التوليد لوحدة الغاز بسبب التغير في درجة حرارة المحيط الخارجي.

أما أداء الوحدة الغازية البسيطة فبينت النتائج التي تم الحصول عليها أن القدرة التوليدية والكفاءة الحرارية ومعدل جريان كتلة الغازات العادم تنخفض بمعدل تقديري بنحو (16.6٪)، (16.8٪)، (1.75٪) على التوالي عندما ترتفع درجة حرارة المحيط الخارجي من (5) درجة مئوية إلى (55) درجة مئوية. في حين وجد أن معدل استهلاك الوقود ودرجة حرارة غازات العادم زادت بنسبة (1.7٪) و (10.4٪) على التوالي عندما ارتفعت درجة حرارة المحيط الخارجي من (5) درجة مئوية إلى (55) درجة مئوية.

أما المرحلة الثانية، فقد تضمنت توزيع درجات الحرارة، ومعدل جريان كتلة مائع التشغيل، وغازات العادم، والضغط التصميمي في مرحلتي الضغط، أظهرت النتائج أن أفضل ضغط تصميمي للبخار في مرحلة الضغط العالي هو بحدود 60 بار و8 بار في مرحلة الضغط الواطئ

في حين كـــــان معدل جريان ودرجة حرارة البخار المحمص في حدود (63.6 كغم / ث) و(783 كلفن) على التوالي في مرحلة الضـــغط العالي. بينما كان معدل جريان كتلة البخار المحمص حوالي (12.8 كغم/ث) مع العلم أن درجة حرارته في حدود (473 كلفن) في مرحلة الضغط الواطئ.

أما المرحلة الثالثة التي تشـمل التصـميم الهندسـي لمنظومة توليد البخار، وبما أن معاملات انتقال الحرارة للغاز ومائع التشغيل من أهم العوامل في التصـميم الهندسـي فقد درس بعمق، وأوضـحت الدراسـة أن معاملات انتقال الحرارة للغاز منخفضـــة مقارنة بمعاملات مائع التشـــغيل وللتغلب على هذه الظاهرة تم زيادة عدد الزعانف وذلك لرفع قيمة معاملات انتقال الحرارة للغاز العادم. كما أظهرت النتائج أن زيادة قطر الزعنفة وعدد الأنابيب في الصـف لها تأثير إيجابي على معاملات انتقال الحرارة للغاز وكمية الحرارة المكتسـبة ولكن هذه الزيادة تؤدي إلى زيادة في انحدار ضـــغط الغاز، إذ وجد أن قطر الزعنفة المناســـب لعمل المبادلات الحراريـة تتراوح بين (0.068 و0.079) متر. بينمـا كـان أكبر عـدد من الانـابيـب حوالي (24) أنبوبـاً في الصف الواحد عندما تتراوح قيمة قطر الانبوب الخارجي بين (0.051 –0.053) متر.

ان نقصـان مسـاحة المقطع العرضـي لمنظومة توليد البخار يؤدي الى زيادة في انحدار ضـغط الغاز لذا فان الابعاد التصميمية المناسبة لمنظومة توليد البخار كانت بحدود (5 * 19) متر.

بينت نتائج المرحلة الرابعة انخفاض معاملات انتقال الحرارة للغاز وكمية الحرارة المسـترجعة وانحدار ضـغط الغاز بنسبة تقدر بحوالي (7%)، (22%)، (8.3%) عند انخفاض القدرة التوليدية للوحدة الغازية من (125 – 99) ميكا واط. كما لوحظ ازدياد درجة حرارة البخار ونقصـــان معدل جريانه في المحمص بنســـبة (2.5%)، (9.2%) على التوالي لمرحلة الضـــغط العالي، وازدياد درجة الحرارة على النحو طفيف وانخفاض معدل جريان كتلة البخار المحمص بنسبة (15.8%) في مرحلة الضغط الواطئ عند انخفاض القدرة التوليدية للوحدة الغازية من (125 – 99) ميكا واط نتيجة ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي من (5 – 55) درجة مئوية.

## Abstract

The current research deals with investigating the design of a simple dual-pressure heat recovery steam generator based on the thermal characteristics of the exhasu gases that coming out a simple gas turbine with production capacity of (125 MW) like the simple gas turbines in AlQayyara power plant. The research was conducted in four stages. The first represented the evaluation of the gas turbine performance in the case of in which the temperature of the turbine ambient increases to included the generation capacity, thermal efficiency, specific fuel consumption and exhaust gases temperature. From the other hand, the second stage focused on identifying suitable the operational factors for the operation of the heat recovery steam generator by means of determining the appropriate design pressure of the steam that is generated from the high and low pressure stages when the gas turbine operates in standard atmospheric conditions (1 bar and 15 $C^{o}$). The third stage involved determining the egnineering design of the thermal exchangers in the steam generating system, which included both (economizer, evaporator and super heater) for both stages (the high and the low pressure stages) depending on the coefficients of the heat transfer of the gas and the working fluid. From the other hand, in the fourth stage the system was tested when the gas turbine generating capacity changes due to the change in the external ambient temperature.

For the performance of the simpel gas turbine, results showed that the generating capacity, temperature efficincy and average flow of the exhaust gases mass decrease by (16.6%), (16.8%) and (1.75%) respectively when the ambient temperature increases from 5 to 55 $C^{o}$. The second stage involved the temperature degrees distribution, the average mass flow of the working fluid, exhaust gases and the design pressure at the two stages of the pressure. The results showed that the best design pressure of the steam in the high pressure stage was about 60 bars and 8 bars in the low pressure stage.

The average flow and the super heated steam temperature was about (63.6 kg/sec.) and (783 K) respectively in the high pressure stage, but its was (12.8 kg/sec.) given that the temperature was about (473 K) in the low pressure stage.

The third stage involved the engineering design of the system. Since the coefficients of gas heat transfer and the working fluid are the most importan factors in the engineering design, they were thoroughly investigated. The study demonstrated that the coefficients of gas heat transfer are lower compared to the coefficients of the working fluid and to overcome this problem the number of fins was increased to elevate the value of exhaust gas heat transfer coefficients. In addition to that, results showed that increasing the diameter of the fin and the number of tubes in the row had a positive effect on the gas heat transfer and the quantity of

the acquired heat, but this increase results in an increase in the pressure drop. It was found that the convenient daimeter of the fin for the heat exchangers is (0.068-0.079) meter, while the largest number of tubes was (24) tubes in each row when the external diameter of the tube is (0.051-0.053) meter.

The decrease in the cross-section area of (H.R.S.G.) results in a drop in the pressure, therefore, the suitable design dimensions of (H.R.S.G.) was (19*5) meters.

The fourth stage results showed that the drop in the gas heat transfer coefficient, the recovered heat and the drop in pressure were (7%, 22% and 8.3%) respectively when the generating capacit of the gas turbine unit from 125 to 99 MW. It was also observed that there was an increase in the steam temprature and a decrease in its flow in the super heater by (2.5%) and (9.2%) respectively for the high pressure stage and a slight increase in the temperature and a decrease in the average of the super heated mass flow rate of the steam (15.8%) in the low pressure stage when the generating capacity of the gas turbine unit is (125-99 MW) as a result of the increase in the external ambient temperature from (5-55) $C^{o}$.

University of Mosul

College of Engineering

# Design of a heat recovery steam generator with application to Qayyarah gas turbines units

**Waleed Salih Mohammad Al-Jubouri**

Master of Science in Mechanical Engineering
Thermal Powers

Supervised by
Assistant Professor
**Dr.. Abdul Rahman Habo Mohammed Habo**

**2021 A. D** **1442 A.H**