جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الميكانيك العام

تحسين أداء المبادلات الحرارية الهوائية لتبريد زيت الضواغط التوربينية من خلال تنظيم حقل جريان الهواء

Improving the Performance of Air-Cooled Heat Exchangers for Cooling Turbine Compressor Oil through Regulating the Airflow Field

اعداد : م. نادين بصمةجي
المشرف العلمي: أ. د.م. علي خلوف

الملخص

تُستخدم مبرّدات الزيت في معامل ضخ الغاز وهي مبادلات حرارية هوائية تضمن التشغيل الموثوق للضواغط التي تقوم بضخ الغاز الطبيعي. يُعد تحسين كفاءة عمل المبادلات الحرارية الهوائية هدفاً دائماً للبحث العلمي بسبب علاقته المباشرة بمعدل استهلاك الطاقة أثناء عملية ضخ الغاز الطبيعي، بالإضافة إلى تأثيرها على وثوقية الضواغط التوربينية لضخ الغاز. يهدف البحث الى تحسين شروط التبادل الحراري من خلال التحكم بحقل الجريان إضافة إلى تحديد المجالات المثلى للبارامترات الهندسية والتشغيلية التي تضمن أفضل أداء للمبادل الحراري، وبالتالي رفع أداء المبادل الحراري الهوائي ضمن شروط التشغيل المدروسة. تمت الدراسة في هذا البحث وفق منهج يعتمد على أساس نظري ودراسة حاسوبية باستخدام برنامج ANSYS Fluent. إن درجة حرارة خروج الهواء الوسطية في وضع العمل الحالي للمبادل الحراري حيث يتم دخول الهواء أفقياً 42.16 °C ، ازدادت هذه القيمة من أجل قيم زوايا دخول موجبة أي عندما كان اتجاه دخول الهواء نحو الأعلى وتبلغ أعلى قيمة لدرجة حرارة خروج الهواء الوسطية من أجل زاوية دخول $\alpha=47°$ حيث تبلغ القيمة العظمى للفعالية $\varepsilon=0.676$ أدى وجود صفائح التوجيه إلى انتظام حقل سرعة الهواء عند مدخل سطح التبادل الحراري بشكل أكبر مما هو عليه بدون وجود الصفائح، بالتالي تزداد عملية التبادل الحراري في مبرد الزيت. إن استخدام صفائح التوجيه أدى الى زيادة فعالية المبادل لكن يمكن أن تكون التكلفة أكبر، إن تركيب الصفائح بشكل طولاني في المبادل أعطت أداء أفضل حيث ازدادت الفعالية بنسبة 8.5% عن الحالة التي يعمل بها حالياً.

القسم العملي

عرض البحث حساب فعالية المبادل الحراري الهوائي من نوع السحب باستخدام العلاقات الرياضية باعتبار الجريان مثالي. كما تم التأكد من أنّ النتائج التجريبية قريبة من النتائج الحاسوبية التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج ANSYS Fluent بنسبة خطأ مقبولة. أثبتت نتائج الدراسة العددية لحقل جريان الهواء أنها طريقة فعّالة لتقييم أداء المبادل من خلال حساب درجة حرارة خروج الهواء من المبادل وحساب فعاليته من خلالها.

تم دراسة عدة حلول مقترحة من أجل زيادة فعالية المبادل الحراري. يُلاحظ تقلص مناطق الركود وزيادة الحركة الدوامية عند توجيه الهواء عند مدخل المبادل نحو الأعلى والأسفل، لكن بقي توزع حقل السرعة على سطح التبادل الحراري غير منتظم من أجل زاوية دخول مائلة نحو الأسفل.

يزداد انتظام حقل السرعة على كامل سطح التبادل الحراري بشكل أفضل مع تقلص حجم منطقة الركود عند دخول الهواء نحو الأعلى عند مدخل المبادل وبالتالي تزداد درجة حرارة الهواء الوسطية عند مخرج المبادل بالمقارنة مع الحالة التي يكون فيها دخول الهواء أفقياً بسبب ازدياد عملية التبادل الحراري.

تزداد فعالية المبادل مع زيادة زاوية دخول الهواء أي عندما يكون اتجاه دخول الهواء نحو الأعلى وتبلغ أعلى قيمة من أجل زاوية دخول $\alpha=47°$ حيث تبلغ قيمة عظمى $\varepsilon=0.676$

القسم العملي

أدى وجود صفائح التوجيه إلى انتظام حقل سرعة الهواء عند مدخل سطح التبادل الحراري بشكل أكبر مما هو عليه بدون وجود الصفائح، بالتالي تزداد عملية التبادل الحراري في مبرد الزيت.

ازدادت درجة حرارة خروج الهواء عند استخدام أربع صفائح طولية أسفل سطوح التبادل الحراري إلى 42.27 °C بالمقارنة مع وضع العمل الحالي للمبادل حيث كانت 42.16 °C و ازدادت إلى 42.22 °C عند استخدام أربع صفائح عرضية، يدل ذلك على زيادة معدل انتقال الحرارة من الزيت إلى الهواء

يزداد انتظام حقل الجريان اسفل سطوح التبادل الحراري مع ازدياد عدد الصفئح الطولية ونتيجةً لذلك تزداد فعالية المبادل حتى تصل الى قيمة عظمى عند استخدام سبع صفائح

القسم النظري

يؤدي قطاع صناعة الغاز الطبيعي دور مهم في الاقتصاد العالمي عامةً وفي الاقتصاد السوري خاصةً، إنّ إحدى أهم الروابط الأساسية لهذه الصناعة هي منظومة نقل الغاز التي تربط حقول إنتاج الغاز بأماكن استهلاكه. تتضمن منظومات نقل الغاز محطات ضواغط توربينية لرفع ضغط الغاز، إن المتطلبات الرئيسية لمحركات هذه الضواغط في هذه المحطات هي الوثوقية العالية وعمر الصيانة الطويل. تتعلق وثوقية محركات الضواغط التوربينية إلى حد كبير بأحد أهم أنظمته وهو نظام التزييت الذي بدوره يعتمد على استقرار بارامترات الزيت المستخدم التي تحددها كفاءة مبردات الزيت بمختلف حالات التشغيل لوحدة الضاغط والظروف البيئية. تؤدي عدم كفاءة مبردات الزيت إلى انخفاض لزوجة الزيت وانخفاض كفاءة التزييت في المحامل الذي يؤدي إلى التآكل المبكر للمعدات، وبالتالي فإن كفاءة مبرد الزيت تحدد كفاءة وحدة الضاغط التوربيني في محطات الضخ.

تعتبر مبردات الزيت من المبادلات الحرارية الهوائية التي تضمن التشغيل الموثوق لمحركات الضواغط التوربينية للغاز الطبيعي. كما يستخدم هذا النوع من المبادلات أيضاً على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية والغذائية والنفطية، حيث توجد حاجة لاستخدام مبادلات حرارية صديقة للبيئة.

يُعد تحسين كفاءة عمل المبادلات الحرارية الهوائية هدفاً دائماً للبحث العلمي بسبب علاقته المباشرة بمعدل استهلاك الطاقة لضخ الغاز الطبيعي، بالإضافة إلى تأثيرها على وثوقية الضواغط التوربينية لضخ الغاز.

النتائج والمناقشة

تلعب مواصفات حقل الجريان دوراً مهماً في تحديد أداء المبادل الحراري، أعطت الطرق المقترحة تحسيناً واضحاً في الأداء حاسوبياً لذلك من المجدي عدم الاكتفاء بالحل الحاسوبي واختبار ذلك عملياً والبحث عن طرق أخرى تحقق زيادة الفعالية بأقل التكاليف الممكنة. بينت الدراسة نتائجاً ايجابية باستخدام صفائح توجيه الهواء، يوصى بدراسة أشكال انحناءات أخرى لهذه الصفائح وتأثير نعومة سطوح صفائح التوجيه على الاستطاعة التشغيلية للمراوح

المراجع

- J. Zhou, X. Li, J. Feng, X. Xu, L. Zhang, and Y. Yu, “Numerical study of non-uniform cooling heat transfer characteristics of supercritical CO2in horizontal air-cooled finned tube,” Case Studies in Thermal Engineering, vol. 37, 2022,
- C. Mei, Y. Li, W. Yao, M. Chen, W. Kang, and Z. Deng, “Numerical Simulation of Heat Transfer Characteristics of Finned Tube Heat Exchanger at Different Flow Velocities,” in Journal of Physics: Conference Series, 2023.
- C. H. Huang, I. C. Yuan, and H. Ay, “An experimental study in determining the local heat transfer coefficients for the plate finned-tube heat exchangers,” Int J Heat Mass Transf, vol. 52, no. 21–22, 2009.