جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الميكانيك العام

رفع كفاءة دارات التبريد باستخدام المواد المتحولة الطور في المكثف والمبخر معاً

Increasing the Efficiency of Refrigeration Cycles Using Phase Change Materials at the Condenser and Evaporator Sections

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في هندسة التبريد

إعداد المهندس: عبد الهادي مروان مسالخي

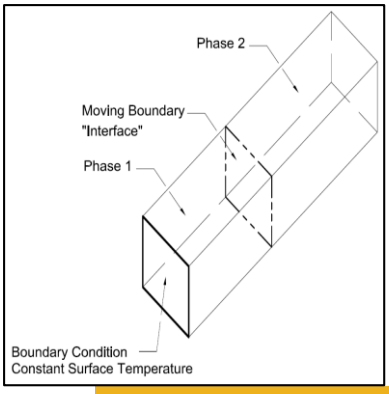
الدكتور المشرف: أ.د.م. وجيه محمد خير ناعمة

الملخص

جرى في هذا البحث دراسة تأثير تضمين مواد متحولة الطور في جزأي المبخر والمكثف على مؤشرات الأداء لمجمدة منزلية (درجة حرارة التبخر، درجة حرارة التكاثف، معامل الأداء، نسبة زمن التشغيل، الاستهلاك الكهربائي، الإكسرجي، مردود قانون الترموديناميك الثاني).
تم في البداية القيام بإجراء تجريبي لدراسة الحالة التقليدية عند درجتي حرارة وسط محيط 32 °C, 38 °C لتحديد درجات حرارة التبخر والتكاثف وزمن تشغيل وتوقف الضاغط عن العمل خلال دورة عمل مستقرة. ومن ثم وباستخدام الحلول التحليلية والمحاكاة الحاسوبية، تم تحديد البارامترات المثلى للمادة المتحولة الطور في جزء المبخر أو جزء المكثف. وبعد ذلك، تمت إعادة التجارب باستخدام المواد المتحولة الطور وتقييم التحسين في مؤشرات أداء المجمدة المنزلية.
وُجد أن استخدام المواد المتحولة الطور في جزأي المبخر والمكثف يرفع من قيمة معامل الأداء بنسبة 19.78% ويخفض من نسبة زمن التشغيل واستهلاك الطاقة الكهربائية بنسبة 13.27%، 15.39% كما ويحد من الإكسرجي الكلي المهدور في الدارة بنسبة 29%.

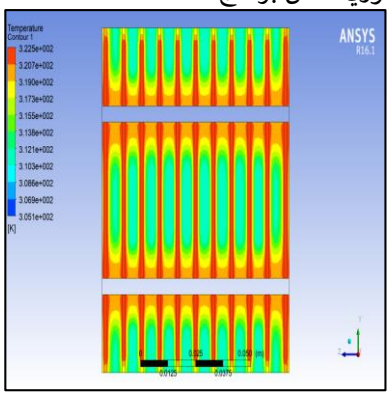
الدراسة التحليلية

تُعد مسألة ستيفان "Stefan Problem" في الرياضيات والفيزياء وتطبيقاتهما، لا سيما في انتقالات الطور في المادة، نوعاً خاصاً من مسألة القيمة الحدية لنظام المعادلات التفاضلية الجزئية "PDE"، حيث يمكن أن تتحرك الحدود بين المراحل الطورية بمرور الوقت. كما تُعتبر أيضاً مجموعة فرعية من فئة كبيرة من المسائل المعروفة باسم مسألة الحدود المتحركة "Moving Boundary Problem".
تهدف مسألة ستيفان الكلاسيكية إلى وصف تطور الحدود بين مرحلتين من مادة تمر بتغير طور، على سبيل المثال ذوبان مادة صلبة كتحول الجليد إلى ماء. يتم تحقيق ذلك عن طريق المعادلات التفاضلية الناظمة لانتقال الحرارة في كلا المنطقتين، مع مراعاة الحدود والشروط الابتدائية. في الحد الفاصل بين المرحلتين (مسألة ستيفان الكلاسيكية)، يتم ضبط درجة الحرارة على درجة حرارة التحول الطوري. لإغلاق النظام الرياضي، يلزم وجود معادلة أخرى وهو شرط ستيفان الحدي.
تم استخدام مسألة ستيفان وحلها لتحديد سماكة مادة التحول الطوري (PCM) بتراكيز مختلفة بحسب المنسوب الشاقولي ضمن حجرة المجمدة المنزلية اعتماداً على زمن تشغيل وتوقف الضاغط.



الدراسة العددية

الهدف من المحاكاة الحاسوبية هو تحديد درجة حرارة وسماكة مادة التحول الطوري اللازم غمر مكثف المجمدة بها لتخزين الطاقة الحرارية الناتجة عن تكاثف وسيط التبريد خلال فترة عمل الضاغط بالحالة المستقرة، ما يؤدي إلى حدوث التحول الطوري (صلب – سائل)، وانتقال هذه الطاقة المخزنة إلى الوسط المحيط خلال فترة توقف الضاغط عن العمل بواسطة حدوث التحول الطوري (سائل – صلب). وبالتالي إن عملية طرح الحرارة تكاثف وسيط التبريد للوسط المحيط تستمر على كامل دورة عمل الضاغط (on, off) بدلاً من أن تكون خلال فترة العمل للضاغط.
إن درجة حرارة التحول الطوري الواجب اختيارها يجب أن تقع بين درجة حرارة الوسط المحيط ودرجة حرارة التكاثف وفي حدود درجات الحرارة هذه، يمكن استخدام أنواع متعددة من البارافينات كمادة تحول طوري لهذه الغاية.
تم اعتماد نموذج معادلات انتقال الحرارة بالتوصيل غير المستقر أحادي البعد حول اسطوانة دورانية، وكذلك معادلات الريشة الأديباتية وشروط ستيفان لعملية التحول الطوري ضمن برنامج ANSYS-16.1-Fluent.



الدراسة التجريبية

سيتم في هذا الجزء من البحث تقييم تأثير تضمين المواد المتحولة الطور في جزء المبخر (التخزين الحراري الكامن البارد) وفي جزء المكثف (التخزين الحراري الكامن الساخن) معاً. لم تذكر أي من الأبحاث المتاحة دراسة هذه الحالة.
تم استخدام محلول غليكول إيثيلين بتراكيز وسماكات مختلفة في كل رف من رفوف المجمدة المنزلية بحسب درجة حرارة هذا المنسوب.
كما تم استخدام شمع البارافين بدرجة حرارة تحول طوري 45.274 °C لتغليف مكثف المجمدة المنزلية.

النتائج والمناقشة

1. تم اعتماد سماكات 5.874, 6.15, 6.823, 7.235 mm لمحلول غليكول إيثيلين كمادة متحولة الطور ضمن مناسيب حجرة المجمدة بتراكيز كتلية 29%, 31%, 34%, 38% بدءاً من المنسوب المنخفض عند درجة حرارة نقطة ضبط 18- °C لحجرة المجمدة.
2. تم اعتماد سماكة 10 mm من شمع البارفين بدرجة حرارة تحول طوري 45.274 °C عند درجة حرارة وسط محيط 38 °C.
3. ارتفعت درجة حرارة التبخر بمقدار 22.53% كما انخفضت درجة حرارة التكاثف بنسبة 4.88% عن الحالة الأساسية.
4. ازداد معامل أداء دورة التبريد 19.78% وانخفضت الاستطاعة الكهربائية المستجرة 15.39% عن الحالة الأساسية.
5. ازداد مردود الإكسرجي بمقدار 7.6% وتبين أن أكبر ضياع للإكسرجي يتم في الضاغط.