

Streszczenie

Rosnące ceny energii elektrycznej i przepisy dotyczące ochrony środowiska sprawiają, że wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego generowanego jako produkt uboczny wielu procesów technologicznych staje się coraz bardziej uzasadnione ekonomicznie. Jednym z potencjalnych sposobów jego zagospodarowania, jest jego wykorzystanie do wytworzenia wydajności chłodniczej za pomocą strumienicowego układu chłodniczego, który może zastąpić konwencjonalne systemy chłodzenia zużywające energię elektryczną. Pomimo licznych opisów w literaturze, takie systemy nie znalazły do tej pory zastosowań przemysłowych. W celu wdrożenia tej technologii w przemyśle potrzebne jest wykonanie wielu badań implementacyjnych, w tym obejmujących pracę strumienicowych urządzeń chłodniczych w rzeczywistych warunkach zasilania przemysłowym ciepłem odpadowym. W dalszym etapie istnieje również potrzeba opracowania efektywnych narzędzi do projektowania omawianych urządzeń. Niniejsza praca dotyczy opracowania i walidacji kompleksowego modelu matematycznego dla strumienicowego układu chłodniczego, w szczególności koncentrując się na projektowaniu i doborze komponentów do wydajnej pracy.

Badania obejmowały opracowanie modeli 0-D strumienicy i modeli płytowych wymienników ciepła z uwzględnieniem kluczowych parametrów, takich jak geometria, właściwości płynu i wydajność w celu określenia wydajności w różnych warunkach pracy. Model został przetestowany i zweryfikowany w oparciu o dane eksperymentalne z dwóch pierwszych komercyjnych prototypowych systemów napędzanych ciepłem odpadowym o mocy 200 kW i 600 kW, zbudowanych i przetestowanych w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Prototypy te wykorzystywały niskociśnieniowy czynnik chłodniczy HFO R1233zd(E) o niskim GWP do odzyskiwania ciepła odpadowego. Przeprowadzone badania wskazały na możliwą wydajną pracę strumienicowych układów chłodniczych, wykorzystujących ten przyjazny dla środowiska czynnik chłodniczy, zwłaszcza do chłodzenia wysokotemperaturowego. Dobrze skalibrowany model strumienicy wraz z modelami płytowych wymienników ciepła, które są najważniejszymi komponentami strumienicowego układu chłodzenia, potwierdziły swoją dokładność i przydatność do celów projektowych. Charakterystyczne sprawności komponentów strumienicy zostały zoptymalizowane dla modelu obliczeniowego, a kluczowe parametry wydajności strumienicy zostały oszacowane z dużą dokładnością. Średni błąd względny oszacowania wynosił 5,0%, 5,6% i 15,6% odpowiednio dla stosunku eżekcji, stosunku sprężania i całkowitej sprawności strumienicy. Dokładność modelu strumienicy była bardzo wrażliwa na prawidłowe oszacowanie sprawności komory

mieszania strumienicy. Badania podkreśliły również znaczenie wykorzystania danych eksperymentalnych o podobnych warunkach przegrzania na dolocie strumienicy w celu dokładnego oszacowania stałych współczynników modelu podczas procesu projektowania. Ponadto modele płytowych wymienników ciepła zostały uznane za dokładne, dając względny błąd oszacowania temperatur wylotowych i strumieni wymienionego ciepła poniżej 10% dla większości przypadków. Uzyskana dokładność jest wystarczająca z punktu widzenia projektowania systemów chłodniczych.

Badanie ujawniło znaczące wyzwania związane ze stosowaniem niskociśnieniowego czynnika chłodniczego R1233zd(E), w szczególności wrażliwość wydajności systemu na spadki ciśnienia. Biorąc pod uwagę ten fakt, w pracy podjęto szereg działań w celu zmniejszenia strat ciśnienia i przetestowano kilka konfiguracji układu chłodniczego. Układ chłodniczy pracujący z czynnikiem R1233zd(E) został również porównany z wysokociśnieniowym czynnikiem R1234ze(E).

Zadawalająca wydajność układu chłodniczego wykorzystującego R1233zd(E) została potwierdzona dla wysokotemperaturowych warunków chłodzenia, równoważnych temperaturze glikolu 16°C/19°C (wylot/wlot parownika), gdzie współczynnik COP wynosił 0,25 przy krytycznych parametrach roboczych. Jednak użycie tego czynnika chłodniczego wymaga kilku prac w celu zmniejszenia minimalnej straty ciśnienia w układzie chłodniczym. W przypadku standardowych warunków chłodzenia, równoważnych temperaturze glikolu 6°C/12°C (wylot/wlot parownika) wymagających wyższych stosunków ciśnień, system działający z czynnikiem chłodniczym R1234ze(E) osiągnął lepszą wydajność, gdzie COP wynosiło 0,25.