dr hab. inż. Krzysztof Bieńczak, prof. nadzw. PP
Instytut Maszyn Roboczych
i Pojazdów Samochodowych
Politechniki Poznańskiej

Poznań, 31.05.2015

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Kaspra Górnego pt.: „Ocena właściwości smarnych mieszaniny olej – czynnik chłodniczy w warunkach smarowania węzłów ślizgowych sprężarek chłodniczych".

1. Dane ogólne

Rozprawa została przygotowana pod kierunkiem dr hab. inż. Arkadiusza Stachowiaka. Liczy 138 stron i składa się z dziesięciu rozdziałów merytorycznych, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, abstraktu i spisu literatury obejmującego 108 pozycji ułożonych w kolejności przywoływania ich w tekście pracy.

Niniejszą recenzję opracowałem na podstawie uchwały Rady Wydziału Maszyn Roboczych i transportu Politechniki Poznańskiej z dnia 26.05.2015 (pismo Dziekana nr DR-63/470/01/2015 z dnia 26.05.2015).

2. Analiza rozprawy

W budowie urządzeń chłodniczych wciąż są aktualne badania dotyczące:

- minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko,
- zwiększenia trwałości i bezawaryjności.

Jedną z dróg minimalizacji negatywnych oddziaływań urządzeń chłodniczych na środowisko jest zastępowanie czynników chłodniczych powodujących niszczenie warstwy ozonowej i wzmacniających efekt cieplarniany (R11, R12, R22) nowymi mniej groźnymi dla środowiska czynnikami. Przyjaznych dla środowiska czynników upatruje się w grupie tzw. czynników naturalnych takich jak amoniak, dwutlenek węgla, propan, izobutan.

Wprowadzenie do eksploatacji urządzeń z nowymi czynnikami chłodniczymi, czy też z czynnikami, które nie były przez wiele lat użytkowane (np. dwutlenek węgla), rodzi szereg problemów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wymagających rozwiązań w trakcie głębokich studiów teoretycznych jak i badań doświadczalnych.

Jednym z istotnych zagadnień jest problem gospodarki olejowej. Pod pojęciem tym należy rozumieć nie tylko zagadnienia związane ze smarowaniem węzłów tarcia, ale także uszczelnienia elementów roboczych sprężarek (tłoki, wirniki śrubowe. dławice), transport oleju przez skraplacz, element dławiący, parownik itd.

Ważne jest również poznanie mechanizmów jak olej wpływa na procesy cieplne zachodzące w skraplaczu i parowniku. Przykładowo pokrycie warstwą oleju powierzchni wymiany ciepła może powodować wzrost współczynnika wnikania ciepła wskutek przejścia skraplania błonowego w skraplanie kropelkowe.

Autor rozprawy obszar swoich dociekań naukowych zawęził do zagadnienia smarowania węzłów ślizgowych sprężarek chłodniczych. Działanie takie jest ze wszech miar słuszne, gdyż pozwala na uzyskanie wartościowych wyników badań, które mogą być wykorzystane do budowy trwałych i niezawodnych urządzeń chłodniczych. Wymienione powyżej inne obszary badań mogą być celem dociekań Doktoranta po uzyskaniu stopnia doktora.

W rozdziale omówiona została konstrukcja urządzeń chłodniczych oraz przemiany termodynamiczne realizowane w tychże urządzeniach. W rozdziale tym został zawężony obszar analizy do sprężarek tłokowych jako najczęściej stosowanych w urządzeniach chłodniczych. Dla całości pracy istotny jest rozdział 1.3, w którym omówiono przyczyny uszkodzeń sprężarek. Z poczynionych rozważań wynika, iż nieefektywne smarowanie sprężarek jest częstą przyczyną wtórną ich uszkodzeń. Szkoda, że Autor pracy założył, iż wszyscy jej czytelnicy znają pierwotne przyczyny uszkodzeń sprężarek, które znajdują się poza sprężarką.

Z przedstawionych norm dotyczących badania olejów do sprężarek chłodniczych wynika, że brak jest uznanej metodyki badania ich właściwości smarnych dla mieszanin olej – czynnik chłodniczy.

W rozdziale drugim sformułowano cel pracy, którym było opracowanie metody badawczej umożliwiającej ocenę właściwości smarnych mieszaniny olej-czynnik chłodniczy stanowiącej medium smarne w węzłach ślizgowych sprężarek chłodniczych.

W sposób naturalny w rozdziale trzecim przedstawiono dotychczasowe badania tribologiczne mieszaniny olej – czynnik chłodniczy. W rozdziale tym istotne są informacje na temat podstaw teoretycznych powstawania wspomnianych mieszanin. Do właściwego planowania eksperymentu ważna jest znajomość mechanizmów tworzenia mieszanin w zależności od właściwości oleju i czynnika. Pokazano zmiany stężenia czynnika chłodniczego w mieszaninie (dla wybranych czynników i olejów) w funkcji czasu, temperatury i ciśnienia. W rozdziale tym scharakteryzowano także stanowiska badawcze do badań właściwości

smarnych mieszanin olej-czynnik chłodniczy oraz omówiono wyniki badań uzyskanych na tych stanowiskach.

Brakuje w tym rozdziale wyraźnego stwierdzenia dlaczego dotyczącego budowy własnego stanowiska rekomendowane jest połączenie rolka-klocek, chociaż po wnikliwych dociekaniach można znaleźć takie uzasadnienie.

Rozdział czwarty poświęcony jest charakterystyce wykorzystanego w badaniach stanowiska. W skład stanowiska wchodzi zmodyfikowany tribometru oraz układ do napełniania czynnikiem chłodniczym. Poprzez zmianę konfiguracji układu do napełniania można modelować różne sytuacje eksploatacyjne, np. pienienie się oleju. Godnym jest podkreślenia fakt, że czynnik po zakończeniu testów nie jest zrzucany do środowiska, lecz do specjalnego zbiornika.

Piąty rozdział poświęcony został prezentacji opracowanej przez Doktoranta metodyki badań. Zaproponowano sposób oszacowania objętościowego zużycia próbki. Minimalne zużycie próbki określono w oparciu o analizę niepewności pomiaru pośredniego objętościowego zużycia. Przy zaprezentowanych wynikach obliczeń niepewności objętościowego zużycia nie podano wartości niepewności pomiaru wielkości, od których zależna jest niepewność pomiaru objętości.

Dużo uwagi w rozdziale tym poświęcono problemowi wytworzenia mieszaniny olej-czynnik chłodniczy. W pracy przyjęto słusznie, iż będą modelowane długotrwałego odstawienia urządzenia chłodniczego z eksploatacji np. w okresie zimowym, czy też po zakończeniu sezonu zamrażalniczego dla owoców i warzyw. Szkoda, iż Doktorant nie powiedział tego w sposób wyraźny. Czynnik chłodniczy we wspomnianej sytuacji eksploatacyjnej ma ciśnienia nad lustrem mieszaniny olej-czynnik chłodniczy zależne od temperatury otoczenia w jakiej znajduje się urządzenie chłodnicze.

W bardzo ciekawy sposób określono stan nasycenia oleju czynnikiem chłodniczym.

Prędkość obrotową rolki oraz obciążenie węzła dobierano tak, aby w krótkim czasie uzyskać wymaganą wielkość zużycia.

Rozdział szósty stanowi praktyczne przetestowanie opracowanej metodyki dla trzech olejów o tej samej klasie lepkości wg ISO (zamienników) współpracujących z czynnikiem R134a. Zrealizowane badania pokazały, że testy prowadzone dla oleju z zerową zawartością czynnika chłodniczego nie daje odpowiedzi jak będzie zachowywała się mieszanina olej-czynnik chłodniczy w rzeczywistych węzłach ślizgowych sprężarek chłodniczych.

Wykonane testy dla stanu nasycenia mieszanin olej-czynnik chłodniczy różnią się znacznie od wyniku dla samego oleju. Nie można wskazać żadnej zależności, która

umożliwiłaby przetransponowanie wyników z badań zużycia węzłów tarcia smarowanych olejem na zużycie tych węzłów, gdy smarowane są mieszaniną olej-czynnik chłodniczy. Doktorant podjął próbę wyjaśnienia przyczyn różnych wyników zużycia dla badanych mieszanin olej-czynnik chłodniczy.

W przypadku mieszaniny dla której zaobserwowano najmniejsze zużycie modelowego węzła tarcia stwierdzono w oleju występowanie dodatków uszlachetniających.

Wykonane badania pozwoliły wykazać, iż mieszaniny różnych olejów o tej samej klasie lepkości tworzą z czynnikiem R134a płyny o różnych właściwościach smarnych.

Wykonane testy stanowiły praktyczną walidację opracowanej metodyki badawczej.

Zwalidowana w rozdziale szóstym metodyka została wykorzystana do oceny właściwości smarnych mieszanin handlowych olejów mineralnych (tej samej klasy lepkości) z naturalnym czynnikiem chłodniczym R290 (propan).

Analizując właściwości wspomnianych olejów i czynnika R290 stwierdzono, że czas nasycania mieszaniny będzie znacznie dłuższy niż dla analizowanego w rozdziale szóstym oleju syntetycznego i czynnika R134a.

W efekcie badań ustalono, iż wspomniany czas winien wynosić 20 godzin. Wykonane testy wykazały, iż zużycie klocka stanowiącego modelowy element węzła zależne jest od użytego oleju wchodzącego w skład mieszaniny.

W rozdziale tym Autor niezręcznie używa pojęcia niezanieczyszczony olej, gdyż może to rodzić pytanie o możliwość zanieczyszczeń, które mogą przedostać się do oleju lub powstać wskutek jego degradacji. Zdaniem recenzenta Autor miał na myśli olej, w którym nie jest rozpuszczony czynnik chłodniczy.

W rozdziale ósmym przedstawiono praktyczną procedurę doboru oleju smarnego z punktu widzenia zużycia ślizgowych węzłów tarcia.

Bardzo interesującą próbę oceny zużycia węzłów ślizgowych podczas pienienia się oleju podjęto w rozdziale dziewiątym. Autor, chyba przez wrodzoną skromność, nie wyeksponował wartości tychże badań. Wykonane testy pokazują, iż konstruktorzy sprężarek winni stosować zabezpieczenia eliminujące możliwości pienienia się oleju.

Podsumowanie pracy zawarte jest w rozdziale dziesiątym. W rozdziale tym określone są także planowane kierunki dalszych badań.

Należy cieszyć się z faktu, iż Autor rozprawy widzi w dalszych badaniach potrzebę analizy wpływu wybranych olejów na pracę całego urządzenia chłodniczego.

W opinii recenzenta Doktorant powinien rozszerzyć możliwość współpracy z wytwórcami sprężarek chłodniczych w państwach ościennych Unii Europejskiej, w ramach grantów europejskich, w celu wdrożenia wyników swoich badań.

3. Ocena pracy

Przedstawiona do oceny praca ma charakter interdyscyplinarny i obejmuje zagadnienia z chłodnictwa, tribologii i inżynierii chemicznej. Praca została wykonana poprawnie. Autor pracy wykazał się umiejętnościami wyciągania praktycznych wniosków z dokonanego przeglądu literatury. Wiedza uzyskana od innych autorów pozwoliła mu na poprawne sformułowanie celu pracy i dobranie właściwych środków do jego realizacji tzn. wykonanie stanowiska badawczego i przygotowanie metodyki badań. Badania zostały przeprowadzone poprawnie a wyniki opracowane rzetelnie. Praca napisana jest komunikatywnym językiem. O zauważonych niewielkich potknięciach językowych informacje przekazałem osobiście Doktorantowi.

Do głównych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- wykazanie iż badania porównawcze właściwości smarnych olejów do sprężarek chłodniczych zaliczonych do tej samej klasy wg normy ISO nie daje prawidłowego poglądu jak będzie zachowywała się mieszanina olej-czynnik chłodniczy w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych,
- opracowanie i przetestowanie stanowiska do badań porównawczych mieszanin olej-czynnik chłodniczy,
- walidację eksperymentalną opracowanej metodyki badawczej,
- wskazanie praktycznego sposobu oceny, iż mieszanina olej-czynnik chłodniczy osiągnęła stan nasycenia dla określonej temperatury i ciśnienia,
- pokazanie destrukcyjnych skutków pienienia się oleju dla węzła ślizgowych sprężarek chłodniczych.

Uwagi krytyczne wyrażone w punkcie 2 niniejszej recenzji odnosiły się głównie do mało precyzyjnego zaprezentowania w pracy jakie sytuacje eksploatacyjne są modelowane w trakcie badań. Należy w tym miejscu zauważyć, iż uwagi krytyczne odnoszą się głównie do strony redakcyjnej i nie mają istotnego wpływu na ostateczną ocenę pracy.

Reasumując stwierdzam, iż moja ocena pracy jest bardzo wysoka.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona analiza i ocena pracy magistra inżyniera Kaspra Górnego pt.: „Ocena właściwości smarnych mieszaniny olej – czynnik chłodniczy w warunkach smarowania węzłów ślizgowych sprężarek chłodniczych” upoważnia mnie do stwierdzenia, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U.2003.65.595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.