

Prof. dr hab. inż. Andrzej Wilk

Katowice, 16.08.2010 r.

Wydział Transportu

Politechnika Śląska

OPINIA



o pracy doktorskiej mgr inż. Grzegorza PERUNIA

„Wpływ czynników konstrukcyjnych, eksploatacyjnych oraz technologicznych na wibroaktywność układu napędowego z przekładnią zębatą”

Promotor: dr hab. inż. Bogusław Łazarz prof. nzw. w Pol. Śl.

1. Uwagi wstępne

Poprawne zaprojektowanie przekładni zębatej, stanowiącej jeden z najważniejszych elementów układu napędowego, wymaga przeprowadzenia optymalizacji jej konstrukcji z uwzględnieniem znacznej liczby często przeciwstawnych kryteriów. Oprócz wymogów wytrzymałościowych i trwałościowych, które powinny być zapewnione przy możliwie najmniejszych kosztach wytwarzania i ciężarze, coraz częściej w projektowaniu przekładni uwzględniane są pożądane cechy eksploatacyjne, a w tym jej wibroaktywność. W przemysłowych przekładniach dużych mocy, szczególnego znaczenia nabiera warunek minimalizacji drgań i hałasów emitowanych podczas eksploatacji. W tym zakresie prowadzone są prace badawcze, ukierunkowane na obniżenie generowanych w zazębieniu sił dynamicznych i drgań, przenoszonych przez wały i węzły łożyskowe na korpus przekładni, który jest głównym źródłem drgań i hałasu. Obniżenie obciążeń dynamicznych kół zębatych ma również istotny wpływ na zwiększenie trwałości i zmniejszenie intensywności zużycia lub uszkodzeń elementów napędów. Jednocześnie prowadzone są badania zmierzające do optymalizacji konstrukcji korpusu, a w szczególności jego uźebrowania, pod kątem zmniejszenia emitowanego przez przekładnię hałasu. Ze względu na złożoność problematyki, konieczność rozpatrywania łącznego oddziaływania i sprzężeń poszczególnych czynników, efektywna optymalizacja konstrukcji przekładni zębatych prowadząca do minimalizacji zjawisk dynamicznych oraz spełnienia podstawowych kryteriów wytrzymałościowych i trwałościowych, jest możliwa jedynie na drodze badań symulacyjnych. Podstawę tych badań

stanowią modele przekładni zębatych i układów napędów, które umożliwiają ocenę wpływu różnych czynników na zjawiska dynamiczne.

Z tego względu podjęcie tematu rozprawy doktorskiej dotyczącego problemu określenia wpływu różnych czynników na wibroaktywność układu napędowego z przekładnią zębatą, uważam za celowe ze względów poznawczych, utylitarnych i ekonomicznych. Zastosowanie do rozwiązania tego problemu badań symulacyjnych jest w pełni uzasadnione.

Recenzowana praca jest obszerna i obejmuje 168 stron tekstu oraz 5 dodatków zawierających m. innymi znaczną liczbę badań symulacyjnych, wyników pomiarów odchylek kół zębatych użytych w badaniach laboratoryjnych oraz charakterystyki różnych programów stosowanych podczas pomiarów. Spis literatury jest bardzo obszerny; obejmuje 261 pozycji, w tym 20 autorstwa lub współautorstwa Kandydata.

2. Ocena merytoryczna pracy

Podejmując badania Autor w rozdziale 4 określa główne czynniki wpływające na wibroaktywność przekładni zębatych, do których należą czynniki związane z konstrukcją kół, łożysk, sprzęgieł, i wałów, a także dokładnością wykonania i zużyciem tych elementów. Za główny cel pracy Autor przyjmuje opracowanie modelu dynamicznego układu napędowego z przekładnią zębatą i przeprowadzenie z jego użyciem obliczeń numerycznych umożliwiających ocenę wpływu najbardziej istotnych czynników konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i technologicznych na wibroaktywność przekładni. Wybrane parametry modelu zostały określone na stanowiskach laboratoryjnych, w celu dostrojenia do obiektu rzeczywistego, a otrzymane wyniki badań symulacyjnych porównano z rezultatami badań doświadczalnych.

Po przedstawieniu w rozdziale 2 głównych czynników wpływających na wibroaktywność i omówieniu metod modelowania i modeli dynamicznych przekładni w rozdziale 3, Autor stawia tezę, że zastosowanie rozbudowanego modelu dynamicznego przekładni zębatej pracującej w układzie mocy krążącej umożliwi określenie wpływu cech konstrukcyjnych kół zębatych, łożysk i innych elementów na jej wibroaktywność.

Uważam, że przyjęty przez Autora cel i główna teza pracy została sformułowana poprawnie, a jej udowodnienie ma duże znaczenie naukowe i może być wykorzystane praktycznie w procesie projektowania układów z przekładnią zębatą.

Realizując przyjęty cel pracy, Autor w rozdziale 5 przedstawia opracowany model dynamiczny stanowiska FZG, który oprócz dwóch przekładni uwzględnia silnik elektryczny oraz wałki i sprzęgła łączące główne elementy układu. Opisując współpracę kół zębatych w modelu, przyjęto koncepcję L. Müllera. Rozbudowany w ten sposób model umożliwia badania zjawisk dynamicznych w zazębieniu kół, z uwzględnieniem wpływu na te zjawiska głównych elementów układu napędowego.

Dzięki zastosowaniu odpowiednio opracowanego opisu współpracy zębów kół, model umożliwia badanie wpływu głównych cech konstrukcyjnych, technologicznych i zużycia kół zębatych na obciążenie dynamiczne układu. Przyjęte w modelu istotne parametry modelu, takie jak: współczynnik tarcia oraz tłumienia drgań w zazębieniu, współczynnik tłumienia drgań poprzecznych w łożyskowaniu zostały określone doświadczalnie, na podstawie badań laboratoryjnych obiektów rzeczywistych.

Do realizacji badań symulacyjnych, z wykorzystaniem przedstawionego modelu, opracowano autorskie oprogramowanie w języku Pascal z użyciem kompilatora Delphi. Weryfikację przyjętego modelu dynamicznego i opracowanego oprogramowania przeprowadzono przez porównanie wyników pomiaru prędkości drgań poprzecznych wałów przekładni, wykonanych na stanowisku z użyciem wibrometru laserowego, z odpowiednimi rezultatami badań symulacyjnych. Stwierdzono dużą zgodność wyników obliczeń i doświadczeń w szerokim zakresie prędkości obrotowych i obciążeń stanowiska, co potwierdza poprawność zaproponowanego w pracy modelu dynamicznego układu.

W rozdziale 6 przeprowadzono analizę wpływu sztywności łożysk tocznych na wibroaktywność przekładni zębatych. Przedstawiono metodę analityczną lub MES umożliwiającą wyznaczenie całkowitej sztywności łożyska, która zmienia się w zależności od liczby elementów tocznych przenoszących obciążenia, co ma określony wpływ na wibroaktywność przekładni.

Opracowany i zweryfikowany model dynamiczny przekładni zębatej w układzie napędowym był podstawą dalszych badań symulacyjnych, których wyniki przedstawiono w rozdziale 7. Wyniki obliczeń pozwalają na ocenę wpływu, na wartość obciążenia dynamicznego zazębienia i prędkości drgań poprzecznych łożysk, wielu istotnych cech konstrukcyjnych, technologicznych kół zębatych, a ponadto obciążenia, prędkości obrotowych, sztywności łożyskowania i budowy korpusu przekładni.

W rozdziale 8 przedstawiono wyniki badań stanowiskowych 4 par kół zębatych o różnych cechach geometrycznych. Celem badań była ocena wpływu tych cech na wibroaktywność przekładni, wyznaczoną na podstawie prędkości drgań poprzecznych wałów

przekładni oraz na podstawie prędkości drgań wybranych punktów korpusu. Wyniki badań doświadczalnych potwierdziły w dużym stopniu rezultaty obliczeń symulacyjnych. Wnioski wynikające z badań symulacyjnych mają duże znaczenie praktyczne, mogą znaleźć zastosowanie w projektowaniu, a w niektórych przypadkach stanowią wytyczne do projektowania przekładni zębatych o obniżonej wibroaktywności.

Wnioski te potwierdzają główną tezę pracy, że zastosowanie w badaniach symulacyjnych zaawansowanych modeli przekładni w układzie napędowym, umożliwia ocenę wpływu rozpatrywanych czynników oraz minimalizację wibroaktywności projektowanego rozwiązania układu poprzez odpowiedni dobór tych czynników.

Podsumowując, uważam, że główny cel pracy, którym było stworzenie zaawansowanego modelu dynamicznego przekładni w układzie napędowym i wykorzystanie go w badaniach symulacyjnych został zrealizowany. Obszerny materiał badawczy został przedstawiony przejrzysto na rysunkach. Analizę wyników badań przeprowadzono poprawnie. Wyniki końcowe opracowano z dużą starannością. Na uwagę zasługuje możliwość praktycznego wykorzystania rezultatów badań w projektowaniu przekładni zębatych o obniżonej wibroaktywności. Rozprawa doktorska opracowana jest bardzo starannie.

3. Uwagi szczegółowe

3.1. Przegląd literatury, przeprowadzony w początkowych rozdziałach pracy, zawiera w pewnej części odniesienie do publikacji, które ukazały się przed kilkunastu lub kilkudziesięciu lat. Moim zdaniem publikacje te można było pominąć, pozostawiając w bardzo obszernym zbiorze literatury, jedynie aktualne pozycje z ostatnich lat.

3.2. W badaniach symulacyjnych obciążeń dynamicznych kół zębatych istotne znaczenie ma przyjęty model sztywności zazębienia. W rozdziale 5.1.3. podano za literaturą, że sztywność zazębienia śrubowego jest proporcjonalna do sumy linii styku wszystkich par zębów będących w przyporze. Model ten jest uproszczony, gdyż nie uwzględnia wpływu nieobciążonych części zębów będących w przyporze na sztywność całkowitą zazębienia. W związku z tym nasuwa się pytanie, czy możliwe jest uwzględnienie tego wpływu w modelowaniu i czy spowoduje to istotną różnicę otrzymywanych wyników obliczeń sił dynamicznych?

3.3. Jak podano w rozdziale 2.24. na wibroaktywność przekładni zębatej ma wpływ pojawiające się podczas eksploatacji zużycie i uszkodzenia zębów kół. W związku z tym

nasuwa się pytanie czy i w jaki sposób możliwe jest uwzględnienie tego zjawiska w opracowanym modelu dynamicznych przekładni zębatej?

3.4. Nieliczne usterki tekstu zostały usunięte przez Autora podczas redakcji pracy.

4. Ocena końcowa rozprawy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi wartościową pracę zarówno pod względem poznawczym, jak i użytecznym. Na podstawie przedstawionych w pracy wyników badań symulacyjnych i stanowiskowych, opracowanego przez Autora i zweryfikowanego modelu dynamicznego przekładni w układzie napędowym, oraz sformułowanych wniosków o dużym znaczeniu naukowym i użytecznym stwierdzam, że Autor rozwiązał samodzielnie i poprawnie sformułowane zadanie badawcze, oraz potwierdził postawioną przez siebie tezę pracy. Wykazał się przy tym dużą wiedzą teoretyczną i praktyczną w zakresie modelowania w dynamice maszyn, pomiarów wielkości mechanicznych, umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań oraz posługiwania się współczesnymi metodami badawczymi.

Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza PERUNIA pt. „Wpływ czynników konstrukcyjnych, eksploatacyjnych oraz technologicznych na wibroaktywność układu napędowego z przekładnią zębatą”, mieszcząca się w obszarze dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn, spełnia wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i o tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. i wnioskuje o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony recenzowanej pracy.

Biorąc pod uwagę wartość naukową i użyteczną rozprawy, ogromny wkład pracy Autora w realizację wyznaczonych zadań badawczych oraz staranność opracowania wnioskuje o wyróżnienie pracy.

