

Prof. dr hab. inż. Jerzy Osiński
Politechnika Warszawska
Instytut Podstaw Budowy Maszyn

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Krzysztofa Twardocha

**“PROGNOZOWANIE STANU DYNAMICZNEGO
PRZEKŁADNI ZĘBATEJ STOŻKOWEJ Z
UWZGLĘDNIENIEM OBCIĄŻENIA MASZYN
GÓRNICZYCH”**

1. Temat rozprawy doktorskiej

W rozprawie rozważono zagadnienia przeciążeń dynamicznych w zębatej przekładni stożkowej w warunkach pracy maszyn górniczych. Przekładnie stożkowe są najmniej poznanym i opisanym rodzajem przekładni zębatach. Dokładniejsze poznanie zależności dynamicznych w zębatach przekładniach stożkowych, w szczególności w napędach maszyn górniczych może prowadzić do obniżenia poziomu obciążeń dynamicznych i wzrostu trwałości.

Temat rozprawy jest, więc wybrany właściwie, a rozważone w niej zagadnienia mają istotne znaczenie teoretyczne i praktyczne.

2. Uwagi szczegółowe

Pierwsze dwa rozdziały mają charakter wstępu do pracy - doktorant omawia w nich zagadnienia zastosowania zębatach przekładni stożkowych w napędach górniczych, w szczególności omawia układy kinematyczne, w których pierwszy stopień jest realizowany przekładnią stożkową. Następnie doktorant przytacza dane statystyczne o obciążeniach występujących w napędach górniczych, średnią miesięczną liczbę rozruchów, stwierdzając, że przekładnie maszyn górniczych pracują w warunkach ekstremalnych obciążeń. Efektem tego jest znaczna awaryjność pierwszego stopnia stożkowego przekładni. Celem rozprawy jest, więc opracowanie metody pozwalającej przewidywać poziom obciążeń pierwszego stopnia podczas pracy maszyn górniczych.

W rozdziale trzecim doktorant formułuje dodatkowo tezę pracy stwierdzającą, że *W celu wyznaczenia sił międzyzębnych w przekładni stożkowej konieczne jest uwzględnienie synergicznego oddziaływania zmiennego obciążenia zewnętrznego oraz wewnętrznego.*

W rozdziale czwartym doktorant przedstawił dotychczasowe prace z zakresu modelowania dynamiki przekładni stożkowych, zwracając uwagę na różnorodność podejścia: modele dyskretne, ciągłe, liniowe i nieliniowe. Własny model przekładni stożkowej autor podaje w rozdziale piątym - jest on opisany dwunastoma równaniami różniczkowymi zwyczajnymi drugiego rzędu o zmiennych współczynnikach. W równaniach wprowadzono specyficzne dla przekładni zjawiska nieliniowe: luzy

międzyzębne, odkształcenia zębów pod obciążeniem i utratę przyporu (oderwania zębów) ważne w ocenie przeciążeń dynamicznych. W rozdziale szóstym doktorant omawia szczegółowe problemy wyznaczania parametrów modelu: sztywności i współczynników tłumienia. Przedstawia między innymi tradycyjne sposoby określania sztywności zęba oraz bardziej nowoczesne podejście przez zastosowanie Metody Elementów Skończonych. Ważnym osiągnięciem doktoranta jest przedstawiona w tej części rozprawy metoda wyznaczania przebiegu sztywności zazębienia kół stożkowych (o kołowo-łukowej linii zęba) z zastosowaniem MES. Model MES jest tworzony przez wykorzystanie wiernego odtworzenia geometrii zazębienia stożkowego drogą symulacji komputerowej obróbki zazębienia stożkowych – wykorzystano tu wyniki prac wykonanych na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Rozdział siódmy jest poświęcony metodzie numerycznego rozwiązywania równań ruchu – doktorant stosuje algorytm RKDP (*Runge-Kutta-Dormand-Prince* czwartego i piątego rzędu), zapewniający odpowiednią do zagadnienia dużą dokładność obliczeń. Obliczenia w rozprawie są wykonane własnym programem DSS-BevelGear napisanym przez doktoranta w systemie wspomaganiania obliczeń MATLAB. W kolejnym rozdziale ósmym doktorant wykonał porównanie wyników symulacji numerycznych z badaniami doświadczalnymi przekładni stożkowych przedstawionymi w znanej monografii wydawnictwa Politechniki Śląskiej (autor prof. A. Skoć), co umożliwiło potwierdzenie adekwatności modelu (zgodności z obiektem rzeczywistym). W najważniejszym w rozprawie rozdziale dziewiątym są przedstawione wyniki symulacji i wynikające z nich wnioski dotyczące obciążenia dynamicznego stopnia stożkowego. Rozdział ten zawiera dużą liczbę wykresów porównawczych: względnego momentu obciążającego, siły międzyzębnej, współczynników nadwyżek dynamicznych z przyczyn zewnętrznych i wewnętrznych oraz współczynnika synergicznego oddziaływania obu przyczyn przeciążenia. We wszystkich analizowanych przypadkach wartość współczynnika synergicznego oddziaływania obu przyczyn przeciążenia jest większa niż iloczyn współczynników nadwyżek dynamicznych z przyczyn zewnętrznych i wewnętrznych – przeciążenia dynamiczne w przekładni stożkowej są, więc większe niż wartość obliczona sposobem przyjętym w normie ISO-DP 6336 (przyjętej do stosowania w ocenie przekładni zębatych).

Rozprawa jest zakończona podsumowaniem – wnioskami końcowymi, w których doktorant przedstawia ocenę dynamiki w stożkowej przekładni zębatej.

Rozprawa jest napisana poprawnie i dobrze zilustrowana graficznie, występuje pewna liczba usterek redakcyjnych i literowych: liczba Poissona a nie współczynnik (s.146), zmienność a nie znamienność (s.260,269), z zastosowaniem a nie zastaniem (s.35), nadużywane jest określenie „w oparciu” o metodę, algorytm itp. Wyjaśnienia wymagają niektóre stosowane określenia np. ewokacja – s. 197. W kilku rozważaniach jest niewłaściwie użyte określenie drgania parametryczne – s.201 i 236, opis dotyczy innych rodzajów drgań. Uściślenia wymaga zamieszczony na stronie 127 opis funkcji kształtu w MES – dotyczy on tylko elementów trójkątnych. Niektóre rysunki zawierające dużą liczbę szczegółów są zbyt małe: 6.48, 6.49, 7.8, 7.9, 9.14 i 9.15.

3. Ocena ogólna rozprawy

Praca ma charakter symulacyjny a jej najważniejszymi osiągnięciami poznawczymi są:

- model zębatej przekładni stożkowej z zębami kołowo-łukowymi, opisany dwunastoma nieliniowymi równaniami różniczkowymi zwyczajnymi drugiego rzędu o zmiennych współczynnikach,
- metoda wyznaczania przebiegu sztywności zazębienia kół stożkowych (o kołowo-łukowej linii zęba) z zastosowaniem MES, model MES jest tworzony przez wykorzystanie wiernego odtworzenia geometrii zazębienia stożkowego drogą symulacji komputerowej obróbki zazębień stożkowych,
- metoda oceny poziomu obciążeń dynamicznych w zębatej przekładni stożkowej z wprowadzeniem współczynnika synergicznego oddziaływania obu przyczyn przeciążenia i wnioski pokazujące, że wartość współczynnika synergicznego oddziaływania obu przyczyn przeciążenia jest większa niż iloczyn współczynników nadwyżek dynamicznych z przyczyn zewnętrznych i wewnętrznych – przeciążenia dynamiczne w przekładni stożkowej są, więc większe niż wartość obliczona sposobem przyjętym w normie ISO-DP 6336,
- wnioski dotyczące poziomu obciążeń w maszynach górniczych pracujących w warunkach ekstremalnych wynikających ze znacznej liczby rozruchów.

Wyniki rozprawy powiększają dotychczasową wiedzę o złożoności zjawisk dynamicznych w przekładniach zębatych, w szczególności stopnia stożkowego – ma to duże znaczenie, ponieważ przekładnie zębate są wciąż najczęściej stosowanym rodzajem napędu w budowie maszyn, także w technice górniczej. Rozprawa ma także wyniki praktyczne, możliwe do wykorzystania w celu doboru parametrów pracy przekładni w maszynach górniczych prowadzących do zmniejszenia poziomu obciążeń dynamicznych, a co za tym idzie do zwiększenia trwałości przekładni. Doktorant podczas realizacji rozprawy wykazał się dobrym przygotowaniem do pracy naukowej, a w szczególności: znajomością zagadnień z zakresu dynamiki maszyn, przekładni zębatych oraz umiejętnością realizacji symulacji komputerowych.

Recenzowana rozprawa doktorska jest samodzielnym rozwiązaniem zagadnienia naukowego.

Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska i świadczy o ogólnej wiedzy teoretycznej doktoranta w tej dziedzinie.

4. Wniosek końcowy

Praca “ *Prognozowanie stanu dynamicznego przekładni zębatej stożkowej z uwzględnieniem obciążenia maszyn górniczych*” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam, więc wniosek o dopuszczenie mgr inż. **Krzysztofa Twardocha** do publicznej obrony, a po jej pozytywnym przebiegu o nadanie stopnia doktora.

Warszawa, dnia 27 czerwca 2016 roku.

Winki

