

Mgr inż. Krzysztof Twardoch

Zakład Mechaniki Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Instytut Mechanizacji Górnictwa
Wydział Górnictwa i Geologii
Politechnika Śląska w Gliwicach

STRESZCZENIE

rozprawy doktorskiej pt.

Prognozowanie stanu dynamicznego przekładni zębatej stożkowej z uwzględnieniem obciążenia maszyn górniczych

W ujęciu ogólnym rozprawa doktorska dotyczy zagadnień mających ścisły związek z obciążeniem dynamicznym przekładni zębatych stożkowych, a co za tym idzie układów napędowych maszyn roboczych, w tym maszyn górniczych.

Efektywna produkcja górnicza to niezawodne działanie systemów maszynowych. Zagadnienia te wprost wiążą się z funkcjonowaniem maszyn i urządzeń (obiektów mechanicznych w ogóle), mianowicie z integralnym przekazywaniem oddziaływań siłowych, statycznych oraz dynamicznych. Wyznaczenie przebiegu, charakteru zmian i wartości ekstremalnych obciążeń dynamicznych w projektowanej konstrukcji jest przedsięwzięciem najtrudniejszym. Dokładność wyznaczenia stanów tych obciążeń (o czasowo zmiennych wartościach, kierunku, zwrocie i miejscu przyłożenia) determinuje poprawność prowadzonych obliczeń projektowych, a w rezultacie niezawodną pracę, a także walory eksploatacyjne oraz koszt wytwarzania maszyny.

Prognozowanie stanu dynamicznego ma szczególne znaczenia wobec licznej grupy przekładni pracujących w układach napędowych maszyn górniczych, których trwałość i niezawodność w sposób zasadniczy zdeterminowana jest przez ekstremalne oddziaływania eksploatacyjne, których efektem jest zmienność obciążenia o immanentnie dużych wartościach przeciążeń chwilowych w czasie pracy ciągłej oraz duża liczba stanów rozruchowych. Wiąże się to z prawdopodobieństwem sukcesu pracy tych maszyn w określonych warunkach i w określonym czasie.

Podjęcie i realizacja tematu rozprawy doktorskiej znajduje uzasadnienie w fenomenologicznym aspekcie poznania zjawisk dynamicznych towarzyszących eksploatacji przekładni zębatych stożkowych, implikowanego celem użytecznym, jakim jest podwyższona trwałość układów napędowych maszyn roboczych, zwłaszcza tych konstruowanych na potrzeby górnictwa. W wielostopniowych przekładniach zębatych, znajdujących zastosowanie w maszynach górniczych niemal zawsze występuje stopień stożkowy. Jest to jeden z najbardziej zawodnych podzespołów, jak wykazała analiza awaryjności.

Zasadniczym celem rozprawy było wykazanie w oparciu o wyniki badań symulacyjnych z wykorzystaniem autorskiego modelu dynamicznego przekładni stożkowej, istnienie synergicznie integralnych oddziaływań zewnętrznych i wewnętrznych międzyzębnych obciążeń zmiennych na stan dynamiczny przekładni stożkowej. W związku z tym podjęte zostały badania teoretyczne mające na celu budowę nowego modelu dynamicznego przekładni zębatej stożkowej, gdzie synergię oddziaływań zmiennych obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych uwzględniono za pomocą współczynnika K_{syn} . *Propozycją autorską jest nowe ujęcie obliczeniowego obciążenia dynamicznego, które wyraża iloczyn obciążenia nominalnego i współczynnika K_{syn} , łączącego matematycznie wpływ czynników wewnętrznych i przebieg obciążenia zewnętrznego na obciążenie międzyzębne.* Pozwala to na wyznaczenie właściwej wartości obciążenia ekwiwalentnego przekładni stożkowej w odniesieniu do obciążenia rzeczywistego. Takie ujęcie zagadnienia umożliwia bardziej racjonalne, niż dotychczas, uzyskanie zakładanej trwałości przekładni. Niewątpliwie może również wpływać na opracowanie procedur zwiększania zakładanej trwałości.

Współczynnik synergicznie integrowanego obciążenia dynamicznego zazębienia przekładni stożkowej, w skrócie współczynnik synergiczny K_{syn} , wyznaczano w oparciu o prognozę stanu dynamicznego przekładni zębatej stożkowej przy zastosowaniu symulacji komputerowej, uwzględniającej związku przyczynowo-skutkowe zachodzące pomiędzy stałymi oraz zmiennymi parametrami zazębienia, a zmiennym obciążeniem zewnętrznym. Jest to unikalne ujęcie zagadnienia zmienności obciążenia eksploatacyjnego w aspekcie prognozowania sił dynamicznych w zazębieniu przekładni stożkowej. Wyznaczany według autorskiego algorytmu współczynnik synergiczny, wyraża stosunek skumulowanej ekwiwalentnej siły międzyzębnej do nominalnej siły międzyzębnej.

Problematyka synergii oddziaływań obciążenia zewnętrznego i wewnętrznego przekładni stożkowej nie była dotąd poruszana, a możliwość jej zaistnienia z uwagi na deteriorację trwałości zmęczeniowej zazębienia stawia to zagadnienie w centrum rozważań naukowych objętych zakresem tytułowej rozprawy doktorskiej.

W dysertacji przedstawiono wyniki badań symulacyjnych nad dynamiką przekładni zębatej stożkowej w aspekcie synergicznie integralnych oddziaływań wewnętrznych i zewnętrznych obciążeń zmiennych przy zastosowaniu metod analizy numerycznej. Badaniom został poddany izomorficzny strukturalno-dyskretny niestacjonarny model dynamiczny przekładni zębatej stożkowej (o 12 stopniach swobody), który został zbudowany przez autora na potrzeby realizacji badań objętych zakresem pracy doktorskiej. O jego izomorficzności oraz strukturalności stanowi fakt, że na potrzeby badań przygotowano parametryczny model bryłowy reprezentatywnej przekładni stożkowej. Model został stworzony w oparciu o symulację nacinania uzębienia oraz symulację współpracy. W celu weryfikacji dokładności odwzorowania geometrii uzębienia przekładni stożkowej przeprowadzono analizę śladu dolegania z zastosowaniem metodologii CAD, która polegała na wykonaniu komputerowej symulacji współpracy zębów kół dla położenia dyskretnych zębownika.

Podjętując badania układu dynamicznego przekładni stożkowej zaproponowano nowy model sztywności i skrętnego zazębienia c_z przekładni stożkowej. W celu identyfikacji tego parametru zazębienia, dokonano dyskretyzacji continuum modelu bryłowego pojedynczej pary zębów i przeprowadzono analizy za pomocą MES. Poruszenie tej problematyki okazało się kluczowe z uwagi na modelowanie parametrów determinujących charakter nieliniowy dynamiki przekładni stożkowej w aspekcie adekwatności jej odwzorowania dyskretnego w postaci modelu strukturalno-dyskretnego.

W celu przeprowadzenia badań w zakresie tematycznym dysertacji, autor stworzył dedykowane narzędzie wspomagania komputerowego o nazwie DSS-BevelGear. Jest to aplikacja w postaci Toolbox, stanowiąca system komputerowej symulacji i analizy numerycznej układu dynamicznego przekładni zębatej stożkowej, oparty na parametrycznym modelu bryłowym kół o zębach prostych lub krzywoliniowych oraz zidentyfikowanej sztywności zazębienia. Program został napisany w języku skryptowym, wykonywany w interaktywnym środowisku obliczeń naukowych i inżynierskich MATLAB[®], w oparciu o zbudowany algorytm wyznaczania rozwiązań modelu matematycznego. System symulacji dynamicznej jest odpowiedzią na potrzebę uzyskiwania wariantowych rozwiązań skomplikowanego modelu matematycznego przekładni stożkowej, będącej nieautonomicznym układem dyskretnym, niestacjonarnym, który wyrażono w postaci 12 nieliniowych równań różniczkowych zwyczajnych drugiego rzędu. Zaproponowany model dynamiczny został przewidziany do badań numerycznych z możliwością symulowania obciążenia międzyzębnego osobno dla każdego z 10 możliwych wariantów, które wynikają z przyjętego modelu geometrycznego kół stożkowych i zadanego kierunku obrotów.

Realizacja planu badań symulacyjnych wymagała przeprowadzenia analizy adekwatności modelu, polegającej na sprawdzeniu i określeniu w jakim stopniu charakterystyki dynamiczne modelu są zgodne z odpowiednimi charakterystykami dynamicznymi, uzyskanymi na drodze badań obiektu rzeczywistego dla wybranych wartości parametrów przekładni zębatej stożkowej. W oparciu o metody W&W (weryfikacja i walidacja), stanowiące podstawę sukcesu badań bazujących na symulacji komputerowej, dokonano jakościowej i kwantytatywnej analizy porównawczej wybranych charakterystyk współczynnika dynamicznego. Rezultaty W&W upoważniły do stwierdzenia, że opracowany model dyskretny przekładni stożkowej jest adekwatnym narzędziem analizy numerycznej i predykcji stanu dynamicznego. Model został w związku z tym zaakceptowany do przeprowadzenia zaplanowanych badań symulacyjnych.

Propozycja prognozowania stanu dynamicznego przekładni stożkowych z zastosowaniem technik symulacji komputerowej, gdzie uwzględniany jest wpływ określonych czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, przyczynia się do zminimalizowania sił międzyzębnych poprzez identyfikację złożonego charakteru interakcji dynamicznych i wyznaczanie wartości współczynnika synergicznie integrowanego obciążenia dynamicznego zazębienia przekładni stożkowej K_{syn} . Stanowi to główny cel użyteczny podjętej pracy. A wobec zrealizowanych etapów pracy badawczej i szczegółowej, wielowątkowej analizy wyników badań zostały osiągnięte wszystkie założone cele cząstkowe pracy (rozdział 3).

Zakres rozprawy, wielowątkowość rozwiązania problemu i analizy wyników badań, poszerza dotychczasowy zasób wiedzy w zakresie identyfikacji obciążenia przenoszonego przez uzębienie współpracujących kół stożkowych. Wiedzy niezbędnej w procesie projektowania nowoczesnych układów napędowych.

