

Recenzja pracy doktorskiej
mgra inż. Roberta Konowrockiego
p.t.

„Oddziaływanie koła z drogą z uwzględnieniem poślizgów bocznych”

Wizerunek Doktoranta - Pana mgra inż. Roberta Konowrockiego

Mgr inż. Robert Konowrocki urodził się w 1975 r. Jest absolwentem Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Dyplom Magistra Inżyniera Mechanika z wynikiem dobrym uzyskał w roku 2002. Jak wynika z przedłożonych przez Doktoranta dokumentów, po zakończeniu studiów rozpoczął działalność naukową w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, początkowo jako asystent, a później i do chwili obecnej jako doktorant. Pracując przez kilka lat z Doktorantem w tej samej komórce organizacyjnej w IPPT PAN mogę stwierdzić, iż mgr inż. Robert Konowrocki jest mocno umotywowanym, ambitnym i rzetelnie pracującym młodym badaczem. Wymiernym wynikiem Jego dotychczasowej pracy w IPPT PAN jest współautorstwo w pięciu i autorstwo jednej pracy naukowej. Ponadto, mgr inż. Robert Konowrocki ma w swoim dotychczasowym dorobku 9 prezentacji konferencyjnych i seminaryjnych, w tym 8 w kraju i jedną zagranicą. Efektem finalnym działalności badawczej mgra inż. Roberta Konowrockiego jest napisanie rozprawy doktorskiej pt. „*Oddziaływanie koła z drogą z uwzględnieniem poślizgów bocznych*” złożoną do recenzji w 2007 roku.

Charakteryzacja rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgra inż. Roberta Konowrockiego jest napisana na 135 stronach maszynopisu w formie 8 rozdziałów, w tym jeden zawierający wstęp, tj. rozdział 1, oraz podsumowanie i wnioski ujęte w rozdziale 8. Tekst pracy zawiera dużą liczbę rysunków, wykresów, fotografii, tabel oraz spis cytowanej literatury obejmujący 111 pozycji.

Praca dotyczy ważnego zagadnienia toczenia się koła jezdnego pojazdu (szynowego lub drogowego) ze zwróceniem szczególnej uwagi na poślizg koła w kierunku poprzecznym do toru jazdy. Pomimo dużej liczby prac naukowych o charakterze teoretycznym i doświadczalnym poświęconych zjawisku kontaktu kół jezdnych pojazdów szynowych i drogowych z podłożem, problem ten nie jest jeszcze w pełni poznany, co uzasadnia celowość podjęcia tej tematyki przez Doktoranta. Jego rozprawa ma charakter doświadczalno-teoretyczny, ponieważ główną, moim zdaniem, wartością tej pracy są wykonane stanowiskowe badania laboratoryjne dotyczące kontaktu koła jezdnego z podłożem oraz ich wyniki, na podstawie których zbudowano odpowiedni model teoretyczny tego zjawiska. Zostało to opisane w rozdziałach 5, 6 i 7-mym poprzedzonych Wstępem zawierającym cel i zakres pracy oraz trzema kolejnymi rozdziałami, w których dokonano obszernego przeglądu literatury poświęconej rozpatrywanej tematyce i przeprowadzono badania teoretyczne dotyczące kontaktu tocznego koła jezdnego z podłożem - potraktowane tu zapewne jako zagadnienia uzupełniające w stosunku do głównego tematu pracy.

Badania laboratoryjne opisane w rozdziałach 5 i 6 sprowadzały się do pomiarów przemieszczeń i prędkości w kierunku prostopadłym do toru jazdy koła jezdnego poruszającego się po poliestrowej taśmie. Ruch tego koła w kierunku prostopadłym do toru jego jazdy (toczenia się) jest spowodowany ustawieniem pod zadanym kątem płaszczyzny tarczy koła w stosunku do płaszczyzny pionowej przechodzącej przez linię kierunku jazdy. Wówczas, styczną siłą kontaktową występującą między podłożem, tj. taśmą poliestrową, i kołem charakteryzują dwie składowe: składowa wzdłużna oraz poprzeczna (prostopadła) do toru jazdy. Składowa poprzeczna siły kontaktowej jest przyczyną oscylacyjnych ruchów w kierunku prostopadłym do toru jazdy koła zamocowanego sprężysto za pomocą odpowiedniej prowadnicy opisanego szczegółowo stanowiska doświadczalnego. W pracy badano trzy koła jezdne wykonane odpowiednio z aluminium, poliamidu i stali. W przypadku każdej z trzech przyjętych w ten sposób par kontaktowych, tj. aluminium-poliester, poliamid- poliester i stal-poliester, pomiary przemieszczeń i prędkości poprzecznych koła przeprowadzono przy różnych wartościach siły docisku koła do taśmy, kąta ustawienia płaszczyzny koła do płaszczyzny kierunku jazdy oraz przy różnych wartościach prędkości taśmy imitującej w ramach zbudowanego stanowiska laboratoryjnego zadaną prędkość toczenia. We wszystkich zbadanych przypadkach zarejestrowano przebiegi przemieszczeń i prędkości charakteryzujące się dwoma podstawowymi składowymi częstotliwościami, co Autor nazywa „dwuokresowością”. W rozdziale 6 szczegółowo zbadano wpływ wartości siły docisku koła do taśmy, kąta ustawienia płaszczyzny koła do płaszczyzny kierunku jazdy oraz wartości prędkości taśmy na amplitudy tych dwóch składowych częstotliwościowych. Stwierdzono prawie liniową zależność wartości częstości odpowiadających tym amplitudom od prędkości taśmy, a więc od prędkości jazdy koła. Sens fizyczny tego zjawiska zρέcznie uzasadniono za pomocą zawartego w punkcie 6.3 teoretycznego rozumowania opartego na zaobserwowanym przy małych prędkościach jazdy dominującym wpływie chwilowego przylegania koła do podłoża, a przy większych prędkościach – narastającym stopniowo wpływie chwilowych poślizgów, co nazwano tutaj „pełzaniem”. W tym miejscu należy zauważyć, że termin „pełzanie” w omawianym przypadku nie wydaje się być zbyt trafnie dobranym jako, być może, bezpośrednie tłumaczenie używanego w języku angielskim słowa „creep” lub też „creepage”. W polskim języku mechaniki termin „pełzanie” kojarzy się bardziej z pełzaniem materiałowym. Dlatego, w przypadku analizy kontaktu dwóch ciał traktowanych jako nieodkształcalne, lepiej byłoby zastąpić słowo „pełzanie” słowem „poślizg”.

W rozdziale 7 rozprawy sens fizyczny uprzednio uzyskanych wyników badań doświadczalnych spróbowano wyjaśnić za pomocą odpowiedniej interpretacji teoretycznej ruchu koła w kierunku poprzecznym do toru jego jazdy. Ze względu na wspomniane powyżej dominujące dwie składowe częstotliwościowe zarejestrowanych przebiegów czasowych ruchu koła, w tym celu przyjęto funkcjonalny model fizyczny rozpatrywanego obiektu w postaci oscylatora o dwóch stopniach swobody. W modelu tym jeden stopień swobody opisuje ruch koła w kierunku prostopadłym (poprzecznym) do kierunku jego jazdy, a drugi stopień swobody odpowiada ruchowi obrotowemu koła wokół jego osi. Z wyprowadzonych równań ruchu tego oscylatora wynika, że obydwie stopnie swobody są ze sobą sprzężone przez siły kontaktu koło-podłoże wyrażone w postaci iloczynów prędkości poślizgów i zależnych od odpowiedzi układu współczynników spełniających tutaj rolę pewnych funkcji kontaktowych. Uzyskano więc analogiczny opis kontaktu między kołem jezdnym a podłożem jak w powszechnie stosowanym dotychczas na świecie modelu kontaktu koło kolejowe – szyna opracowanym przez J. J. Kalkera i zmodyfikowanym w zakresie pełnych poślizgów m.in. przez Shena-Hedricka-Elkinsa oraz w znanym, opracowanym przez Fromma modelu kontaktu między oponą a jezdnią, opartym na teorii Pačejki, zwanym także modelem szczotkowym. Odpowiednio zidentyfikowane parametry przyjętego oscylatora, a w szczególności właściwie dobrane funkcje kontaktowe, pozwalają na uzyskiwanie zadowalającej zgodności

zarejestrowanych wyników doświadczalnych z analogicznymi wynikami symulacji teoretycznej. W związku z powyższym, można przypuszczać, że taki model ruchu po podłożu koła jezdnego wykonującego ruchy w kierunku prostopadłym do toru jazdy mógłby być przydatny do badania zjawiska kontaktu kół pojazdów szynowych z torem lub pojazdów drogowych z jezdnią. Stanowi to podstawową wartość prezentowanej pracy, wyniki której mogłyby dać podstawę do dalszych badań aplikacyjnych w tej dziedzinie w środowiskach technicznych producentów i eksploataatorów taboru kolejowego i drogowego.

Ciekawym efektem wspólnym wykazanim przez wyniki pomiarów dokonanych we wszystkich trzech przypadkach rozpatrywanych par kontaktowych, tj. koła aluminiowego, poliamidowego i stalowego oddziaływujących z poliestrową taśmą, są przebiegi przemieszczeń i przebiegi ich prędkości charakteryzujące się wspomnianymi powyżej dwoma dominującymi składowymi częstości. Jak widać, zjawisko to wystąpiło nie tylko przy różnych wartościach siły docisku koła do taśmy, kąta ustawienia płaszczyzny koła do płaszczyzny kierunku jazdy oraz przy różnych wartościach prędkości taśmy (jazdy), lecz również niezależnie od naturalnych przecięż i teoretycznie różnych wartości współczynników tarcia przyporządkowanych każdej parze kontaktowej. Wyjaśnienia przyczyn tego efektu można szukać wykorzystując podstawy teorii drgań samowzbudnych prostych układów mechanicznych, do jakich to drgań przecięż sprowadza się istota badanego w pracy zjawiska. Autor próbuje to czynić analizując odpowiednie trajektorie fazowe i mapy Poincaré. Omawiany efekt został także uzyskany w sposób obliczeniowy poprzez wprowadzenie odpowiedniej funkcji kontaktowej f_{12} sprzęgającej poślizg wzdłużny koła z prostopadłym do niego poślizgiem poprzecznym do kierunku jazdy. Stanowi to interesujący wynik poznawczy będący pewnym uzupełnieniem do powszechnie stosowanych teorii kontaktu koła jezdne – podłoże opracowanych przez Kalkera i Paćejkę, w których poślizgi występujące w tych właśnie kierunkach nie są wzajemnie ze sobą sprzężone. Z jednej strony, stwarza to wartościową perspektywę kontynuacji tych badań, dzięki czemu można byłoby próbować wyjaśnić fizyczną przyczynę otrzymanego efektu. Jednak z drugiej strony, z ubolewaniem stwierdzam, że Autor w tej pracy wyraża zupełną nieświadomość istnienia tych dwóch tak powszechnych i zupełnie dobrze sprawdzających się w większości zastosowań technicznych modeli kontaktu, mimo iż cytuje – szkoda tylko że z innego powodu – dwie prace Profesora J. Kalkera i aż trzy pozycje autorstwa Profesora H. B. Paćejki. W przeciwnym wypadku, na podstawie porównania założeń wyjściowych i opisów matematycznych modeli kontaktu opracowanych przez obydwu wymienionych wybitnych badaczy z wynikami pomiarów doświadczalnych i modelem teoretycznym przyjętym w tej rozprawie, można byłoby wypracować bardziej interesujące wnioski i precyzyjniej nakreślić kierunki dalszych badań tego problemu. Wówczas, prowadzone rozważania byłyby znacznie bardziej atrakcyjne do konfrontacji z analogicznymi wynikami badań naukowych na forum międzynarodowym.

Jednak mimo ambitnie postawionego celu oraz uzyskanych interesujących wyników doświadczalnych potwierdzonych teoretycznie, omawianą pracę cechują dość poważane mankamenty. W najważniejszej zdaniem recenzenta części rozprawy największe zastrzeżenia budzi zupełnie niejasny dobór parametrów modelu teoretycznego ruchu koła jezdnego w postaci oscylatora. Dotyczy to nie tylko parametrów bezwładnościowych i współczynników sztywności, lecz przede wszystkim postaci i parametrów funkcji kontaktowych. Autor operuje tu wyłącznie wartościami bezwymiarowymi, co w przypadku parametrów owych funkcji kontaktowych utrudnia wyczcucie ich sensu fizycznego. W związku z tym, z odnośnych sformułowań zawartych w rozdziale 7 można odnieść wrażenie, że wszystkie te parametry zostały dobrane metodą prób i błędów, w sposób przypadkowy, a tym samym uzyskana wprawdzie dobra zgodność wyników pomiarów z wynikami obliczeń może również wydawać się przypadkowa. W tym miejscu należy podkreślić, iż pomimo pewnej analogii opisu

matematycznego przyjętego w pracy modelu teoretycznego z opisami modeli kontaktu Kalkera i szcztokowego (Pačejki-Fromma), te dwa ostatnie modele zostały wypracowane na podstawach mechaniki i teorii sprężystości. Dzięki temu, za ich pomocą uzyskiwane są poprawne do celów technicznych wyniki w szerokim zakresie parametrów ruchu koła i własności powierzchni tocnych par kontaktowych. Ponieważ w przedstawionej rozprawie nie wykazano fizycznego uzasadnienia kryteriów przyjmowanych parametrów modelu teoretycznego, w tym funkcji kontaktowych, nasuwają się pytania: jak zachowa się badany obiekt w przypadku znacznie większych lecz realistycznych wartości siły docisku koła jezdnego do podłoża, lub - jak zachowa się obiekt, gdy koło będzie wykonane z bardziej podatnego materiału niż metal czy poliamid - na przykład z miękkiej gumy?

Doktorant nie komentuje, dlaczego w jednym przypadku toczenia się koła po podłożu wykorzystuje funkcje kontaktowe mnożone przez prędkości poślizgów (zgodnie z wyjściowym równaniem ruchu modelu (7.1)), a w innym przypadku pomija je opisując efekt kontaktowy w postaci zewnętrznej siły wymuszającej F_2 zależnej, jak wynika z wzoru (7.4), również od odpowiedzi układu. Opisano to równaniem (7.3). Pomimo, iż w wyjściowym równaniu ruchu (7.1) występują cztery funkcje kontaktowe, Autor uwzględnia tylko jedną, wspomnianą powyżej funkcję f_{12} , przyjmując pozostałe równe zero. Wówczas, sprzężenie ruchu koła w kierunku poprzecznym do toru jazdy z jego ruchem obrotowym ma charakter sprzężenia jednostronnego, to znaczy, że w przyjętym modelu najprawdopodobniej ruch obrotowy koła wpływa na jego poślizg w kierunku poprzecznym, a ten z kolei nie ma wpływu na poślizg koła w kierunku wzdłużnym, tj. kierunku toru jazdy. Ta szczególna cecha interesującego przecież i godnego uwagi efektu sprzężenia, co podkreślono już powyżej, wymaga w pracy skomentowania.

Kolejną wadą pracy jest jej słaba spójność merytoryczna. Rozdział 2, w którym są rozpatrywane zjawiska towarzyszące toczeniu się koła po podłożu, tj. efekty naprężeń własnych w powierzchniach tocnych, oraz dokonana jest przestrzenna numeryczna analiza dynamiczna i statyczna koła traktowanego jako sprężyste przy wykorzystaniu metody elementów czasoprzestrzennych i metody elementów skończonych, czy wreszcie rozpatrywane zostały zagadnienia falowe w kole ogumionym, nijak nie wiąże się tematycznie z rozdziałami zawierającymi wyniki stanowiące podstawową wartość rozprawy. W rozdziale 2 Doktorant niepotrzebnie zamieszcza wyniki uzyskane przez innych autorów, a zawarty w nim opis podstaw metody elementów skończonych czy zaczerpnięte z prac Promotora sformułowanie metody elementów czasoprzestrzennych wydają się być nieco żenujące. Niektóre cytowane w tym rozdziale wyniki w kontekście tematu i wyznaczonego głównego celu badań rozprawy budzą wątpliwości. Na przykład pokazany na rysunku 2.4 na stronie 15 wykres przebiegu normalnej siły kontaktowej pomiędzy sprężystym walcem a nieskończenie sztywnym podłożem charakteryzuje wartość średnia tej siły równa $\sim 0.2 \cdot 10^7$ N oraz wartości chwilowe dochodzące do $0.5 \cdot 10^7$ N, tj. odpowiednio około 20 i 50 razy więcej niż średnia siła nacisku koła jezdnego do szyny dużej lokomotywy elektrycznej. Autor w pracy nazywa ten walec kołem. W związku z tym, nasuwa się pytanie: co to jest za koło i jaki pojazd ono podpira? Wstawianie do omawianej rozprawy wyników czysto teoretycznej pracy Promotora poświęconej badaniu zjawisk falowych w ośrodku ciągłym nie wydaje się być tutaj zasadne. Podobnie, cytowany z pracy innego autora rysunek 2.2 na stronie 14, przedstawiający wyznaczony teoretycznie przebieg siły kontaktu koła kolejowego z szyną, także budzi wątpliwości, gdyż Doktorant nie zamieścił żadnych informacji dotyczących modelu, za pomocą którego ten przebieg uzyskano. Jaka jest więc wiarygodność i reprezentatywność tego przebiegu będącego we wstępnej części rozprawy ilustracją zjawiska dynamicznego oddziaływania koła jezdnego z podłożem? Biorąc pod uwagę główny temat i przyjęty cel badań rozprawy, omawiana praca nic by nie straciła, gdyby cały rozdział 2 pominięto.

Usterki drobne pracy dotyczą jej redakcji, którą, pomimo dość estetycznej formy maszynopisu, nie można uznać za dobrą. Użyty język jest stylistycznie niedopracowany, w wielu miejscach odbiegający od powszechnie przyjętych standardów pisania monografii, rozpraw i artykułów naukowych. Szczególnie dotyczy to opisów wzorów matematycznych i występujących w nich symboli, na przykład wzoru (3.6.) na stronie 45, wzoru (3.12) na stronie 51, wzoru (6.2) na stronie 94 itd. oraz podawania informacji uzupełniających w postaci oderwanych zwrotów ujętych w nawiasy, na przykład w punkcie 2.3 na stronie 38 i 39. Tekst charakteryzuje sporo zwrotów niezręcznych, nawet żargonowych, na przykład: „przebiegami” określamy raczej funkcje czasu lub zmiennych przestrzennych, a nie dowolnych wielkości fizycznych (str. 76 i podpis rysunku 5.11), rysunek 5.12 przedstawia przebieg zmienności wartości promienia koła w funkcji jego obwodu, a nie (cyt.) „kształt geometryczny” tego koła, rysunki 3.15 i 3.16 niezbyt dokładnie odpowiadają ich opisom na stronach 52 i 53, równania ruchu modelu (7.1) są po prostu równaniami, a nie modelem (strona 113). Lista wszystkich tego typu mankamentów w tekście byłaby długa.

W całej rozprawie Autor operuje nieściśłymi terminami dotyczącymi kierunków ruchu koła jezdnego względem podłoża. Wykorzystywanie określeń „kierunek boczny” lub „poślizg boczny” - prawdopodobnie przyjętych wskutek bezpośredniego przetłumaczenia z języka angielskiego słowa "lateral" - w pracy naukowej jest w wielu przypadkach nieściśle i językowo nieeleganckie. W tej sytuacji byłoby celowe wprowadzenie na początku rozprawy odpowiednio związanego z kołem jezdny układ współrzędnych i zdefiniowanie przy jego pomocy obowiązujących później w całym tekście nazw poszczególnych kierunków.

Chronologia podawania informacji w pracy jest często niewłaściwa, co utrudnia czytanie i zrozumienie tekstu. Dotyczy to przede wszystkim rozdziału 6, w którym omawiane są wyniki pomiarów zilustrowane na wykresach. Tu właśnie, albo poszczególne rysunki zawierające te wykresy są zamieszczone w nieodpowiedniej kolejności, albo ich opis powinien być dopasowany do istniejącej w maszynopisie kolejności rysunków. Czytając rozdział 6, czytelnik musi w niewygodny sposób błędzić w tekście. Również w punkcie 2.3, poświęconym zjawiskom falowym w kole ogumionym, o wyznaczeniu prędkości krytycznej, jako wartości ekstremalnej prędkości fazowej wyrażonej w funkcji liczby falowej, czytelnik dowiaduje się wprost dopiero w przykładach obliczeniowych, a nie w części początkowej tego punktu zawierającej matematyczne sformułowanie problemu. Z kolei w rozdziale 7 Autor nie wyróżnia, kiedy symbole v_1 i v_2 oznaczają prędkości uogólnione modelu fizycznego w postaci oscylatora, a kiedy oznaczają wartości początkowe tych prędkości wykorzystywane do symulacji numerycznej. To drobne na pozór niedopatrzenie jest bardzo mylące, gdyż błędnie sugeruje, iż funkcje kontaktowe, których argumentem jest v_2 , nie są funkcjami odpowiedzi układu, lecz z góry zadanej stałej wartości nazwanej w pracy „parametrem” (strona 115 i 120). Wymienione powyżej usterki redakcyjne pokazują, że Autor nie zadbał specjalnie o komfort czytania jego pracy.

Stanowisko końcowe

Reasumując, należy stwierdzić, iż pomimo charakteryzujących pracę mankamentów i usterek redakcyjnych tekstu, oczywiście zalety merytoryczne omawianej rozprawy, jak również ogólny wizerunek zawodowy Doktoranta – Pana mgr inż. Roberta Konowrockiego, pozwalają na nadanie mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2005 r., nr 164, poz. 1365) i na dopuszczenie dysertacji do publicznej obrony. Oczekuję przy tym pisemnej odpowiedzi Autora rozprawy na postawione w niniejszej recenzji zarzuty i wymienione wątpliwości.