

Warszawa, dn. 04.03.2011

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kowalewski
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
02-106 Warszawa, ul. Pawińskiego 5B

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Dariusza Sekuły pt. Real-Time Dynamic Load Identification

wykonana na wniosek Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

1. Treść i zakres rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Sekuły dotyczy problemów związanych z identyfikacją rodzaju obciążenia ze szczególnym uwzględnieniem obciążenia o charakterze dynamicznym.

Praca podzielona została na pięć rozdziałów i osiem krótkich dodatków, zawierających łącznie 104 rysunki, spis treści, wykaz literatury (170 pozycji), które zajmują w sumie 171 stron.

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym w zagadnienia rozważane w rozprawie, Doktorant przedstawił krótkie uzasadnienie podjętej tematyki a następnie omówił przegląd metod identyfikowania obciążenia o charakterze dynamicznym na podstawie dostępnej literatury fachowej. W dalszej części tego rozdziału Doktorant precyzuje, co rozumiemy pod pojęciem układów pracujących w czasie rzeczywistym, jakie są ich uwarunkowania w działaniu i jakie są wymagane układy sensorowe przy ich sterowaniu. W punkcie 1.4 Doktorant szerzej skupia swoją uwagę na podkreśleniu zalet sensorów wykorzystujących efekt piezoelektryczny, ponieważ właśnie ten rodzaj czujników zastosował w swoich badaniach. Ostatni podpunkt rozdziału pierwszego dotyczy głównych celów rozprawy oraz syntetycznego omówienia zawartości poszczególnych jej rozdziałów.

Problem identyfikacji rodzajów obciążenia występujących w ruchu drogowym przedstawiony jest w rozdziale drugim. Przeprowadzona została estymacja siły kontaktowej, występującej między kołami pojazdu a nawierzchnią drogi oraz określenie masy pojazdu. Główny przedmiot badań stanowiły dynamiczne wagi drogowe. Pracują one na zasadzie detekcji lokalnego odkształcenia w obiekcie stanowiącym przetwornik nacisku. W

przeprowadzonych badaniach rozpatrywano przydatność dwóch wersji piezoelektrycznych czujników zmiany odkształcenia, a mianowicie belkowe i płytowe przetworniki nacisku. Badania obejmowały część doświadczalną wykonywaną w warunkach rzeczywistych oraz część obliczeniową prowadzoną w laboratorium. Doktorant dokonał analizy najbardziej istotnych czynników wpływających na dokładność identyfikacji obciążenia wskazując, że amplituda mierzonego sygnału nie stanowi reprezentatywnego wskaźnika typu obciążenia w takich przypadkach, gdy strefa kontaktu koła z nawierzchnią jest porównywalna z szerokością stosowanego przetwornika nacisku. Niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta było opracowanie własnego rozwiązania przetwornika i wykonanie jego prototypowej wersji, a także sformułowanie dla niego algorytmów identyfikacji obciążenia. Z dwóch rozpatrywanych wersji Doktorant wskazuje płytowy przetwornik nacisku jako rozwiązanie lepsze pod względem dokładności.

W rozdziale trzecim omówiono zagadnienia związane z dynamicznymi wagami kolejowymi. Urządzenia tego rodzaju są niezmiernie istotne z uwagi na ich przydatność w ocenie stanu kratownicowych mostów kolejowych. W tym zakresie Doktorant zaproponował metodę opierającą się na pomiarach odkształcenia szyn kolejowych wskutek nacisku wywoływanego przez przejeżdżający pociąg. W badaniach zastosowane zostały czujniki piezoelektryczne, których wskazania wcześniej skonfrontowano z odczytami uzyskiwanymi z pomiarów wykonywanych techniką tensometrii oporowej. Wyniki wykonanych badań w terenie posłużyły do weryfikacji modelu numerycznego opisującego zachowanie układu szyna - podkład - podłoże.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki badań procesu uderzenia spadającego obiektu w absorber pneumatyczny, których celem było ustalenie form identyfikacji masy i prędkości uderzającego obiektu. Doktorant zaproponował dwa algorytmy wykrywania parametrów obciążenia, które zweryfikowano od strony doświadczalnej oraz numerycznej. Pierwszy tzw. podejście "peak to peak", natomiast drugi to mapa możliwych odpowiedzi. Pierwszy ze sposobów identyfikacji obciążenia polegał na całkowaniu równania ruchu uderzającej masy po czasie zdefiniowanym przez chwilę, gdy względna prędkość uderzanych obiektów zanika. Z kolei w drugim z rozważanych algorytmów identyfikacji obciążenia wykorzystano wcześniej opracowane bazy danych, które zawierały charakterystyczne parametry poszukiwanych odpowiedzi strukturalnych odpowiadających zmiennym parametrom przyłożonego obciążenia. Zdaniem Doktoranta metoda ta polegała na maksymalnym uproszczeniu akwizycji danych przez zastosowanie algorytmu wykorzystującego jedynie pomiary z pojedynczego sensora.

Obie zaproponowane techniki działają w czasie rzeczywistym i zapewniają detekcję parametrów uderzenia w bardzo krótkim czasie, rzędu kilku milisekund. Stwarza to realną możliwość ich wykorzystywania w urządzeniach przeznaczonych do adaptacyjnego rozpraszania energii uderzenia.

Rozdział piąty stanowi podsumowanie pracy z wyszczególnieniem głównych jej osiągnięć, jednak bez podania propozycji możliwych przyszłych kierunków badań w tym zakresie.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Mgr inż. Krzysztof Sekuła w swojej rozprawie doktorskiej podjął się opracowania algorytmów identyfikacji obciążenia o charakterze dynamicznym na podstawie własnych badań doświadczalnych, a w niektórych przypadkach z użyciem własnych oryginalnych urządzeń zaprojektowanych z myślą ich zastosowania w swoim programie badawczym. Praca łączy w sobie trzy wzajemnie uzupełniające się nurty: eksperyment, teorię oraz obliczenia numeryczne, co stanowi niewątpliwą plus rozprawy. Przy tym zgadzam się z Doktorantem, że praca w przeważającej części ma charakter eksperymentalno-numeryczny. Część teoretyczna w moim przekonaniu w dużym stopniu stanowi wykorzystanie dotychczasowych osiągnięć grupy naukowej, z której wywodzi się Doktorant i nie stanowi już tak dużego wkładu do mechaniki, jak przeprowadzone badania doświadczalne.

Badania wykonane przez mgr inż. Krzysztofa Sekułę obejmowały zarówno testy laboratoryjne, jak i polowe, co w przypadku tych ostatnich zasługuje na szczególne podkreślenie ze względu na trudne warunki ich realizacji.

Tematyka rozprawy ma wyraźne akcenty aplikacyjne, ponieważ obejmuje zagadnienia bardzo istotne z punktu widzenia przede wszystkim transportu kolejowego i drogowego, oraz dla innych gałęzi przemysłowych. Bezpośrednim powodem takiego dużego zainteresowania wynikami rozprawy jest charakter rozważanych obciążeń. Obciążenia dynamiczne nadal należą do bardzo trudnych w kompleksowej analizie, dlatego każda nowa praca jest szansą na rozpoznanie nowych efektów im towarzyszącym. W konkretnym przypadku Doktorant zaproponował zastosowanie czujników piezoelektrycznych do nowych rozwiązań dynamicznych wag drogowych i kolejowych, a także interesujące procedury identyfikacji różnego rodzaju obciążenia. Na szczególne wyróżnienie zasługuje fakt, że mgr inż. Krzysztof Sekuła należy do współtwórców trzech zgłoszeń patentowych tematycznie pokrywających z problematyką dużej części swojej pracy doktorskiej.

Oceniając tematykę rozprawy i jej zawartość jedyny mój krytycyzm odnosi się do zbyt szerokiego potraktowania tematyki identyfikacji obciążeń dynamicznych, jak na jedną pracę. Należy pamiętać, że są to zagadnienia trudne nie tylko od strony teoretycznej, ale przede wszystkim od doświadczalnej. Lepiej zatem jest się skoncentrować na konkretnym przypadku i zrobić to w możliwie kompleksowy sposób. Zatem umieszczenie w pracy badań wykonywanych na stanowisku zrzutownika uważam za zbyt rozbudowujące rozprawę. W moim przekonaniu typ obciążenia uzyskiwany na tym stanowisku odbiega jednak od obciążenia realizowanego w dynamicznych wagach drogowych i kolejowych i mógłby być przedmiotem niezależnej rozprawy doktorskiej.

W świetle aktualnych badań naukowych w dziedzinach mechaniki oraz budowy i eksploatacji maszyn wybór tematyki pracy uważam za właściwy i zgodny nie tylko z współczesnymi trendami ich rozwoju, ale i praktycznymi potrzebami pojawiającymi się w wielu dziedzinach techniki. Każde nowe, poprawnie zaplanowane i wykonane, badania doświadczalne stanowią inspirację do oceny nowych zjawisk, ich opisu w języku fizyki oraz matematyki i wreszcie konkretnych zastosowań. Tak też jest i w tym przypadku. Doktorant wykonał badania, które pozwalają określić stopień wrażliwości rzeczywistych obiektów na obciążenia o charakterze dynamicznym.

Moim zdaniem niezbyt mocnym punktem recenzowanej pracy jest jej strona wydawnicza. Doktorant niestety nie zadbał wystarczająco o szatę swojej pracy, która pod tym względem odbiega od standardów znanych mi z uczelni. Zwyczajny zabindowany manuskrypt to nie to samo co praca z ładnie dobraną, nawet skromną okładką. Ponadto, mam zastrzeżenia co do jakości bardzo wielu rysunków, zwłaszcza ich wielkości, co przekłada się na słabą ich czytelność. Młodego adepta nauki powinna cechować dbałość o wszelkie elementy swojej pracy. Niestaranność na etapie edycyjnym może również skutkować wnioskami związanymi z rzetelnością wykonywanych innych prac, a w przypadku badań doświadczalnych może podważać wiarygodność uzyskiwanych wyników.

Zwraca uwagę duża liczba cytowanych pozycji literaturowych dotyczących problematyki poruszanej w rozprawie, co świadczy o dużej erudycji Doktoranta w wymienionych obszarach badań naukowych. Sprawia to dobre wrażenie, które obniża jednak fakt niefortunnego moim zdaniem sposobu ich cytowania. Mianowicie, Doktorant przyjął formułę cytacji w kolejności ich pojawiania się, oraz dodatkowo przy powoływaniu się na wiele pozycji, rok opublikowania. Szczególnie ta ostatnia zasada wprowadza pewien nieporządek, ponieważ numer wyższy często pojawia się przed niższym. Na przyszłość

proponowałbym jednak przyjąć regułę obowiązującą w wydawnictwach książkowych, tj. spis publikacji uporządkować alfabetycznie według nazwisk autorów.

Za główny wkład Doktoranta do rozwoju dziedziny budowa i eksploatacja maszyn uważam przeprowadzenie ciekawych badań doświadczalnych zarówno laboratoryjnych, jak i w terenie z zakresu identyfikacji obciążeń dynamicznych, zaprojektowanie, wykonanie i zastosowanie własnych koncepcji aparatury pomiarowej oraz doprowadzenie do finalizacji własnych rozwiązań w postaci trzech zgłoszeń patentowych.

Rozprawa w większości napisana jest poprawnie od strony językowej. Doktorant sformułował cele swojej pracy i uważam, że postawione zamierzenia zostały osiągnięte.

Mimo dobrej ogólnej oceny rozprawy dają się jednak w niej zauważyć pewne potknięcia i słabsze strony, z których ważniejsze omówiono powyżej, a pozostałe w sposób szczegółowy przedstawiono w następnym punkcie niniejszej recenzji.

3. Uwagi szczegółowe

Język angielski pracy jest z niewielkimi wyjątkami (literówki) zadowolający, chociaż zdarzają się zdania nieprawidłowo sformułowane lub trudne do zrozumienia. Przed ewentualną publikacją konieczna jest weryfikacja od strony używania przedrostków, które w wielu miejscach są zastosowane nieprawidłowo.

Poniżej podano bardziej znaczące potknięcia merytoryczne, redakcyjne lub terminologiczne, których nie uwzględniono w punkcie drugim niniejszej recenzji.

- (a) Do ujemnych stron opiniowanej rozprawy należy zaliczyć brak zbiorczego zestawienia używanych oznaczeń. Utrudnia to czytanie i zrozumienie niektórych jej akapitów.
- (b) W swojej rozprawie Doktorant nie przestrzega zasady stosowania jednostek układu SI.
- (c) Na stronie 30 przedstawiono schematycznie rozmieszczenie piezoelektrycznych czujników odkształcenia na dynamicznej wadze drogowej w postaci belki, rys. 2.8. Bez zaznaczenia, jak przyłożone są siły, z rysunku tego można wnioskować, że czujniki są umieszczone na osi obojętnej zginanej belki i w związku z tym nie mają szansy wskazywać jakichkolwiek odkształceń.
- (d) Rysunek 2.7 na stronie 30 dotyczący modelu numerycznego dla dynamicznej wagi drogowej jest mało informacyjny. Ponadto, w tekście opisującym ten model podano tylko liczbę węzłów bez żadnej informacji o wpływie liczby elementów na uzyskiwane rozwiązania.

- (e) Wyniki zaprezentowane na rys. 2.15 na str.37 są zupełnie nieczytelne. Podobnie jest z : rys. 2.16 str. 39, rys. 4.5 str. 94, rys. 4.7 str. 96, rys. 4.9 str. 99, rys. 4.10 str. 100, rys. 4.11 str. 101, rys. G3 str. 165, rys. G5 str. 167.
- (f) Problem analizy niepewności pomiarowych w przeprowadzonych badaniach został potraktowany w sposób bardzo ograniczony. Przydałby się rozdział, który mógłby stanowić dodatek, w którym ta problematyka byłaby ujęta bardziej profesjonalnie.
- (g) Rozkład czujników dla dynamicznej wagi drogowej w postaci płyty jest mało precyzyjnie opisany. Doktorant napisał, że jest on równomierny z rozstawem 100 mm na szerokości 2 metrów, co oznaczałoby, że nie cała szerokość byłaby rozpatrywana przy zastosowanych 15 czujnikach (tej informacji nie podano, wynika ona z rys. 2.32 na str. 52). Jak było w rzeczywistości?
- (h) Zaproponowane modele numeryczne do obliczeń rozważanych zagadnień z wykorzystaniem metody elementów skończonych są interesujące. Zwraca jednak uwagę fakt powierzchowności analizy, czego przejawem jest z pewnością brak dyskusji wpływu gęstości przyjętej siatki elementów na otrzymywane wyniki. Bez takiej informacji przeprowadzone obliczenia nie mają zbyt dużej wartości.
- (i) W badaniach przedstawionych w rozdziale czwartym w rozważaniach teoretycznych uwzględniono wpływ tarcia na zachowanie uderzanych elementów. Nie są to jednak jedyne problemy w takich badaniach. Powstaje również pytanie, jak na wyniki wpływają efekty bezwładnościowe oraz temperatura? Czy w rozpatrywanym modelu brano pod uwagę wymienione czynniki?

4. Wniosek końcowy

Mgr inż. Krzysztof Sekuła jest Autorem rozprawy doktorskiej wnoszącej wkład w rozwój dziedziny budowa i eksploatacja maszyn wyrażający się wartościowymi wynikami dotyczącymi identyfikacji obciążenia o charakterze dynamicznym w wybranych sytuacjach mających miejsce na przykład w transporcie samochodowym i kolejowym. Zamieszczone w niniejszej recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie zmniejszają w sposób istotny osiągnięć Doktoranta, ponieważ odnoszą się głównie do uchybień natury edycyjnej, a tylko sporadycznie merytorycznej.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością podstaw mechaniki i nowoczesnych technik badawczych, swobodą w zakresie posługiwania się metodami numerycznymi i stosunkowo trafnym formułowaniem wniosków z wykonanych badań.

Podsumowując nie waham się stwierdzić, że praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Sekuły spełnia wymagania ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych. Stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Zawadzski