

Prof. dr hab. inż. Bogdan Sapiński
Katedra Automatyzacji Procesów
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Kraków, dnia 28.09.2016.

R E C E N Z J A

osiągnięcia naukowego

**pt. „Nieliniowa dynamika oraz odzyskiwanie energii w wahadłowym
eliminatore drgań z aktywnym zawieszeniem”**

oraz aktywności naukowej

dra inż. Krzysztofa Kęcika

przygotowana dla Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej

Podstawą do opracowania recenzji stanowi pismo Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej z dnia 29 lipca 2016 r. (sygn. W110/40/2016) oraz przekazana z tym pismem dokumentacja dotycząca postępowania habilitacyjnego dra Krzysztofa Kęcika w dziedzinie nauki techniczne, w dyscyplinie mechanika.

1. Informacje podstawowe

Dr inż. K. Kęcik [REDACTED] W 1998 r. ukończył Technikum Mechaniczne ze specjalnością obróbka skrawaniem, a w 2003 r. uzyskał dyplom magistra inżyniera na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej (WM PL) na kierunku mechanika i budowa maszyn ze specjalnością technologia maszyn. W 2009 r., uchwałą Rady WM PL, otrzymał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika. Jego rozprawa doktorska pt. „Drgania regularne i chaotyczne nieliniowego układu mechanicznego z wahadłem fizycznym” została wyróżniona przez Radę WM PL.

W 2003 r. Habilitant rozpoczął pracę zawodową w Katedrze Mechaniki Stosowanej WM PL na etacie asystenta, by po roku rozpocząć Studia Doktoranckie na WM PL. Po uzyskaniu stopnia doktora w 2009 r., pracuje na stanowisku adiunkta w rodzimej uczelni.

Prace naukowe dra K. Kęcika, których zwieńczeniem jest opiniowane osiągnięcie naukowe stanowiące cykl publikacji, jest poświęcone zagadnieniu eliminacji niebezpiecznych obszarów drgań i odzyskiwania energii w układzie mechanicznym, który tworzy wahadło zamocowane na ruchomej masie (oscylator) wykonującej ruch pionowy. Wcześniejsze prace naukowe Kandydata były poświęcone analizie i modelowaniu procesów skrawania materiałów trudnoobrabialnych wykorzystywanych w lotnictwie (wiązało się to z tematyką pracy magisterskiej) oraz badaniom dynamiki układu o dwóch stopniach swobody składającego się z wahadła i oscylatora (dotyczyły one tematyki pracy doktorskiej).

2. Ocena aktywności naukowej

W moim przekonaniu działalność naukową dra K. Kęcika należy ocenić pozytywnie. Świadczą o tym przedstawione poniżej dokonania.

Habilitant wygłosił 31 referatów na konferencjach, w tym na 7 zagranicznych. Wśród tych referatów, 4 to prace autorskie, natomiast pozostałe są pracami współautorskimi.

Inne publikacje naukowe nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego znajdujące się w bazie JCR, to 12 współautorskich artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych (wkład Kandydata jest szacowany od 20 % do 60%).

Pozostałe osiągnięcia to:

- udział we wdrożeniu wyników prac badawczo-rozwojowych wynikających ze współpracy między Politechniką Lubelską i Zakładami Lotniczymi w Mielcu (2014 r.),
- 1 współautorskie krajowe zgłoszenie patentowe z 2015 r. (udział Kandydata polegał na opracowaniu sposobu długości protezy z zastosowaniem SMA),
- 6 współautorskich publikacji w czasopismach krajowych i międzynarodowych z czego 3, to prace po uzyskaniu stopnia doktora (wkład Kandydata jest szacowany od 10 % do 70%),
- 1 autorski rozdział i 5 współautorskich rozdziałów w monografiach (wkład szacowany od 30% do 60%), z czego 5, to prace po uzyskaniu stopnia doktora,
- 1 autorskie opracowanie i 13 współautorskich opracowań, które dokumentują prace badawcze i ekspertyzy wykonane dla przemysłu (wkład Kandydata jest szacowany od 30% do 90%).

W latach 2012-2014, dr K. Kęcik był kierownikiem projektu Juventus Plus II finansowanego przez MNiSW. Obecnie kieruje projektem NCN w ramach programu SONATA 6 przyznanym

na lata 2014-2017. Był też głównym wykonawcą i wykonawcą w 6 projektach, w tym w 2 projektach europejskich i 2 projektach NCN (program OPUS).

Według danych z WoS, liczba cytowań (bez autocytowań) wynosi 76, a indeks H wynosi 6 (dane z dnia sporządzania recenzji). Największa liczba cytowań (40) przypada do tej pory na 2014 r. Znaczna liczba tych cytowań, których łączna liczba wynosi 113 dotyczy wcześniejszych publikacji, które nie są bezpośrednio związane z opiniowanym osiągnięciem naukowym. Przytoczone wskaźniki należy uznać za dobre w świetle wymagań stawianych wobec ubiegających się o stopień doktora habilitowanego. Warto zauważyć znaczący wzrost liczby tych cytowań w ostatnich latach. Szczególnie dotyczy to lat 2014-2016.

Uznanie aktywności naukowej Habilitanta stanowią nagrody, wśród nich 4 Nagrody II stopnia Rektora Politechniki Lubelskiej za osiągnięcia naukowe (3 po uzyskaniu stopnia doktora), wyróżnienie przez Wydawnictwo Elsevier za osiągnięcia naukowe (2014 r.) i 2 Stypendia Marii Curie finansujące kursy we Włoszech (2007 r.) i Austrii (2008 r.).

Z przekazanej dokumentacji widać kontynuację ścisłej współpracy Habilitanta z promotorem pracy doktorskiej. Ta współpraca przeniosła się także na kolejny etap rozwoju naukowego, którego celem jest uzyskanie stopnia doktora habilitowanego. Świadczą o tym wspólne publikacje, prace badawczo-rozwojowe, inne prace nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego oraz zgłoszenie patentowe.

Na podstawie powyższej analizy stwierdzam, że w zakresie aktywności naukowej dra K. Kęcika są spełnione wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

W skład opiniowanego osiągnięcia naukowego dra K. Kęcika wchodzi 18 artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Stanowią one jednotematyczny cykl pod wspólnym tytułem „Nieliniowa dynamika oraz odzyskiwanie energii w wahadłowym eliminatorze drgań z aktywnym zawieszeniem”. Wśród nich 3 publikacje, których autorem jest wyłącznie Kandydat oraz 6 publikacji współautorskich. Te prace znajdują się w bazie WoS i posiadają IF. Inne 2 artykuły znajdują się w tej bazie, ale nie posiadają IF. Wśród pozostałych 7 artykułów (nieindeksowanych w WoS i nie mających IF), 4 to opracowania autorskie. Suma IF dla wymienionych publikacji wynosi 10.313.

Wyniki dokonań naukowych dra K. Kęcika były przedstawiane w formie publikacji w uznanych czasopismach zagranicznych, takich jak m. in.: Journal of Sound Vibration,

Meccanica, International Journal of Mechanical Sciences, International Journal of Non-linear Mechanics, The European Physical Journal – Plus, Structural Engineering and Mechanics, Mathematical Problems in Engineering oraz Journal Bifurcation and Chaos i w postaci referatów wygłoszonych na konferencjach takich jak m. in.: EUROMECH, IUTAM, ASME i ECCOMASS. Oprócz tego niektóre wyniki badań zostały zaprezentowane w krajowych czasopismach naukowo-technicznych oraz formie referatów wygłoszonych na krajowych konferencjach naukowych.

Wkład Kandydata w publikacje współautorskie jest szacowany od 50 % do 90% i został określony opisem wykonanych przez Niego zadań.

Należy podkreślić, że prace badawcze dra K. Kęcika były wspierane przez 2 wspomniane wcześniej projekty badawcze: „Dynamiczna eliminacja drgań oraz sterowanie drganiami regularnymi i chaotycznymi w nieliniowym układzie parametrycznym” (Juventus Plus II, lata 2011-2013) i „Ocena możliwości odzyskiwania energii w wahadłowych tłumikach drgań” (Sonata 6, lata 2014-2017).

Prace naukowe Kandydata składające się na opiniowane osiągnięcie naukowe wynikają z zainteresowania zagadnieniem drgań w nieliniowym układzie mechanicznym z wahadłem fizycznym, które zrodziło się podczas realizacji pracy doktorskiej i konsekwentnym rozwijaniem tej problematyki. Pierwszą publikacją z tego zakresu badań jest artykuł napisany wspólnie z promotorem do Journal of Sound and Vibration (2009 r.), który moim zdaniem nie można być zaliczony w poczet opiniowanego osiągnięcia.

Prace, o których mowa są związane z eliminacją niebezpiecznych drgań i odzyskiwania energii w tzw. układzie autoparametrycznym (oscylator składający się z wahadła zainstalowanego na ruchomej masie) i wykonującym ruch pionowy. Habilitant zaproponował zawieszenie oscylatora zbudowanego na sterowanych elementach wykonawczych, którymi są tłumik MR i sprężyna wykonana z SMA. To zawieszenie nazwał zawieszeniem aktywnym. Uważam, że poprawną nazwą jest zawieszenie semiaktywne lub półaktywne+.

Pracom Habilitanta towarzyszyły 2 cele:

- zbadanie efektywności i skuteczności działania zawieszenia w sytuacji niebezpiecznych zjawisk dynamicznych oraz sterowanie drganiami regularnymi i chaotycznymi,
- zbadanie możliwości odzyskiwania energii w wahadłowych tłumikach drgań i stopnia odzyskiwania energii w warunkach efektywnej eliminacji drgań.

W działaniach Kandydata zmierzających do ich realizacji można wyróżnić 3 etapy.

W etapie pierwszym, aby umożliwić ograniczanie lub unikanie obszarów niestabilnych w rozważanym układzie, Habilitant wprowadził tłumik MR, przeanalizował wpływ nieliniowego tłumienia (posługując się modelem nie uwzględniającym histerezy) na dynamikę układu i wykazał ograniczenie dynamiki nieregularnej, a przede wszystkim możliwość sterowania drganiami układu wykorzystując strategię on-off. Udokumentowaniem tych działań jest liczący 61 stron rozdział w monografii Springera (2012 r.), którego dr K. Kęcik jest współautorem oraz artykuł autorski opublikowany w materiałach XXV konferencji *Vibration in Physical Systems* (2012 r.). Kolejnym wyrazem kontynuacji prac była, propozycja modelu tłumika MR uwzględniającego efekt histerezy, który różni się od znanych tych z literatury. Model ten został opisany w pracy wydanej w *Machine Dynamics Research* (2014 r.). We wspomnianym rozdziale monografii Springera oraz pracy opublikowanej w czasopiśmie *Mathematical Problems in Engineering* (2011 r.) Kandydat wykazał, że zastosowanie nieliniowego tłumika i nieliniowej sprężyny w zawieszeniu umożliwia redukcję lub przesuwanie niebezpiecznych obszarów drgań bez utraty zdolności redukcji drgań oscylatora. Z kolei w artykule opublikowanym w czasopiśmie *Eksplotacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability* (2013 r.), dokonując analizy efektywności wahadłowego tłumika drgań, pokazał, że tłumienie wahadła ma istotny wpływ na dynamiczną eliminację drgań, co zdecydowało o wykorzystaniu tłumika MR do sterowania drganiami w zawieszeniu oscylatora. Na tym etapie zrodził się pomysł odzyskiwania energii w rozpatrywanym układzie.

Przeprowadzając wnikliwą analizę teoretyczną i eksperymentalną dynamiki układu autoparametrycznego, w szczególności zawieszenia (Springer, 2014 r.) pokazał, że wprowadzenie nieliniowego tłumika oraz nieliniowej sprężyny i wykorzystanie w pętli otwartej strategii on-off, umożliwia kontrolowany przeskok w inny atraktor. Co więcej, pokazał również możliwość występowania oscylacji z przesuniętym środkiem drgań, redukcję tego przesunięcia przy zastosowaniu nieliniowych elementów zawieszenia oraz, że wykorzystanie nieliniowej sprężyny może spowodować pojawienie się nowych rozwiązań zależnych od warunków początkowych. W pracy opublikowanej w czasopiśmie *Meccanica* (2014 r.), Habilitant przedstawił zagadnienie sterowania w pętli zamkniętej z wykorzystaniem dwóch algorytmów. Pierwszy z nich posłużył do sterowania oscylacjami wahadła, drugi do sterowania rotacją i chaosem. W obu przypadkach, aby uzyskać żądane rozwiązanie, wykorzystał do sterowania odpowiednią aktywację tłumika MR.

Z kolei w artykule zamieszczonym w czasopiśmie *International Journal of Structural Stability and Dynamics* (2014 r.) przeanalizował stabilność rozwiązań okresowych i zbadał wpływ parametrów układu na dynamiczną eliminację drgań. Wprowadził dwa wskaźniki

opisujące skuteczność redukcji drgań. Pierwszy z nich charakteryzuje stopień redukcji drgań przez ruch wahadła (definiuje on zależność amplitud rozwiązań półtrywialnych i nietrywialnych), natomiast drugi charakteryzuje możliwość efektu wzbudzenia niepożądanych drgań (opisuje zależność między maksymalną i minimalną amplitudą rozwiązania nietrywialnego).

W drugim etapie, biorąc pod uwagę wyniki wcześniejszych badań, Habilitant zmodyfikował strukturę zawieszenia, do którego oprócz tłumika MR wprowadził drugi element sterowany - sprężynę SMA wykonanej z Nitinolu. Wyniki badań tego układu przedstawił w artykułach opublikowanych w czasopismach *International Journal of Non-linear Mechanics* i *Acta Mechanica et Automatica* (2015 r.) i *Modelowanie Inżynierskie* (2014 r.). Analizy teoretyczne przeprowadzone dla tak zmodyfikowanego zawieszenia pokazały wpływ aktywacji sprężyny SMA na obszar rezonansu parametrycznego i poziom redukcji drgań oraz na stabilność rozwiązań. Wyniki analiz weryfikował w badaniach doświadczalnych, modernizując w tym celu, stanowisko laboratoryjne używane we wcześniejszych eksperymentach. Znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami analiz teoretycznych i doświadczalnych nie zostały wyjaśnione i wymagają dalszych badań. Przypuszczenie, że wynika to z przyjętego modelu sprężyny SMA nie wyjaśnia moim zdaniem tej kwestii

W trzecim etapie badań Habilitant podjął zagadnienie odzyskiwania energii w analizowanym układzie. W tym zakresie zaproponował dwa doświadczalne urządzenia wykorzystujące elektromagnetyczny mechanizm przetwarzania energii mechanicznej na elektryczną. Pierwszym z nich jest powszechnie znana prądnica. Jest ona dedykowana do obrotowego ruchu wahadła. Natomiast drugie, to urządzenie które składa się ze specjalnego magnesu poruszającego się wewnątrz wahadła z nawiniętą cewką. Jest ono dedykowane oscylacjom wahadła. Badania dotyczące odzyskiwania energii w rozważanym układzie są na wstępnym etapie. Dotyczy to zwłaszcza warstwy eksperymentalnej. Wyniki analiz z tego zakresu badań zostały przedstawione w artykułach opublikowanych w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* (2013 r.), *The European Physical Journal Special Topics* (2013 r.) oraz monografii *Dynamical Systems Control and Stability* (2015 r.). Według zapowiedzi Habilitanta, kolejne publikacje, w których będą przedstawione najnowsze wyniki związane z odzyskiwaniem mają ukazać się w *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics* oraz w materiałach konferencyjnych znajdujące się w bazie WoS w najbliższym czasie.

Do osiągnięć naukowych Kandydata zawartych w opisanym cyklu publikacji należy zaliczyć:

- opracowanie koncepcji zawieszenia z tłumikiem MR i sprężyną SMA,
- utworzenie własnego modelu tłumika MR uwzględniającego efekt histerezy,

- opracowanie urządzeń do odzyskiwania energii zainstalowanego w dynamicznym eliminatorze drgań oraz do odzyskiwania energii z ruchu obrotowego wahadła,
- przeprowadzenie analizy dynamicznej eliminacji drgań i odzyskiwania energii,
- opracowanie algorytmu sterowania w torze otwartym,
- opracowanie algorytmów sterowania zawieszeniem w torze zamkniętym do dynamicznej eliminacji drgań oraz odzyskiwania energii,
- przeprowadzenie analizy wpływu nieliniowego tłumienia na zjawisko dynamicznej eliminacji drgań,
- przeprowadzenie analizy efektywności wahadłowego eliminatora drgań,
- opracowanie projektów układów do odzyskiwania energii i weryfikację eksperymentalną uzyskanych wyników.

Wymienione wyżej dokonania wskazują, że Habilitant posiada interdyscyplinarną wiedzę i umiejętności w stosowaniu metod zaawansowanych teoretycznie, nowoczesnych narzędzi badawczych oraz w prowadzeniu eksperymentów. Udokumentował to duża aktywnością naukową i licznymi publikacjami.

Uważam, że przedstawione osiągnięcie naukowe wnosi oryginalny wkład w dyscyplinę mechanika. Kandydat znacząco powiększył swój dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych i w moim przekonaniu posiada odpowiednie kwalifikacje umożliwiające samodzielne prowadzenie badań naukowych. Dorobek Kandydata spełnia w wystarczającym stopniu wymagania do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, nawet gdyby z tego osiągnięcia został wyeliminowany wspomniany artykuł opublikowany w Journal of Sound and Vibration (2009 r).

4. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opisana i oceniona powyżej aktywność naukowa Habilitanta oraz przedstawione osiągnięcie naukowe pt. "Nieliniowa dynamika oraz odzyskiwanie energii w wahadłowym eliminatorze drgań z aktywnym zawieszeniem" spełniają kryteria określone w art. 2 ust. 2 Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. W związku z tym wyrażam pozytywną opinię w sprawie nadania doktorowi inżynierowi Krzysztofowi Kęcikowi stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie mechanika.

