

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Garus pt. „Stateczność dynamiczna tłumionych układów mechanicznych na przykładzie układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego”

wykonana na zlecenie Dziekana ds. Nauki Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Częstochowskiej, dr. hab. inż. Janusza Szmidli, z dnia 9.06.2025 r., wynikające z uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej

1. Przedstawienie podstawowych danych o Kandydatce

Mgr inż. Justyna Garus uzyskała we wrześniu 2006 r. tytułu zawodowy magistra inżyniera na Wydziale Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, na kierunku studiów Fizyka Techniczna.

W okresie od 1 października 2020 roku do 25 marca 2025 roku Kandydatka odbyła studia trzeciego stopnia w Szkole Doktorskiej Politechniki Częstochowskiej, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Z dostarczonej mi dokumentacji wynika, że Kandydatka nie ubiegała się uprzednio o nadanie stopnia doktora w żadnej innej jednostce naukowej.

2. Uwagi ogólne, dotyczące rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Garus, stanowiąca podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora, nosi tytuł: „Stateczność dynamiczna tłumionych układów mechanicznych na przykładzie układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego”.

Drgania mechaniczne to procesy, w trakcie których obserwowana wielkość fizyczna na przemian rośnie i maleje w czasie. Zjawiska drganiowe obejmują zarówno środowisko techniczne, jak również środowisko naturalne, w tym także organizmy

żywe. Skupiając się na środowisku technicznym, są to niezwykle istotne procesy, występujące w wielu dziedzinach inżynierii mechanicznej, inżynierii lotniczej czy też inżynierii lądowej, przez co są trwale związane niemal z każdym obszarem działalności człowieka. Drgania mechaniczne powstają w maszynach praktycznie we wszystkich trzech jej zasadniczych podukładach, takich jak podukłady napędowe, mechanizmy przeniesienia strumienia mocy, podukłady wykonawcze, a także w ich otoczeniu. Procesy drganiowe występujące w maszynach mogą stanowić podstawę ich działania w zakresie wykonywania przez nie procesu technologicznego lub transportowego, jeśli zostały celowo zaprojektowane, by w swym działaniu korzystać z energii procesu drgań, albo stanowią zjawiska wysoce niepożądane. Konieczna jest identyfikacja przyczyn powstawania ruchu drgającego, co może prowadzić do osiągnięcia zakładanych funkcji technologicznych lub transportowych, gdy drgania są źródłem energii tych procesów, albo umożliwić eliminację bądź minimalizację niekorzystnych skutków ich występowanie tam, gdzie są niepożądane.

Trudnym do pełnego, matematycznego ujęcia, lecz ważnym praktycznie obszarem pojawiania się w układach technicznych szkodliwych, a często bardzo niebezpiecznych efektów drganiowych, są tzw. drgania parametryczne, będące szczególnym rodzajem drgań mechanicznych, powstających w układach technicznych w wyniku następowania okresowo zmiennych parametrów fizycznych, opisujących własności układu, dostarczającego do układu energii, poprzez zmiany w czasie wartości niektórych jego cech wewnętrznych.

W przypadku układów mechanicznych są to zwykle okresowe zmiany wartości mas lub momentów bezwładności, sztywności lub podatności elementów tych układów, a także zmiany jego parametrów geometrycznych. Do szczególnie niebezpiecznych zjawisk z tym związanych należy zjawisko tzw. rezonansu parametrycznego, mogącego doprowadzić do utraty stateczności dynamicznej układu, poprzez gwałtowny wzrost wartości współrzędnych uogólnionych, opisujących ten układ.

Współczesne, wspomagane numerycznie metody projektowania układów technicznych, w tym maszyn i urządzeń, a także dostępność nowoczesnych, lekkich, wytrzymałych, inteligentnych tworzyw konstrukcyjnych, umożliwiają osiągnięcie ich zwiększonej wydajności działania, podnoszenie bezpieczeństwa użytkowania oraz wydłużanie czasu bezawaryjnej eksploatacji. Wiąże się to zwykle ze wzrostem prędkości ruchu ich elementów oraz z obniżeniem masy całkowitej, przy jednoczesnej konieczności zwiększenia wartości przenoszonych obciążeń. Zmiany te

szczególnie predestynują tego typu układy do powstawania w nich zjawisk związanych z rezonansem parametrycznym.

Ważnym aspektem modelowania układów technicznych i opisu procesu ich drgań parametrycznych jest uwzględnienie wpływu tłumienia na przebiegające tam zjawiska. Klasyczne modele matematyczne drgań parametrycznych uwzględniają w swojej strukturze tłumienie, czego przykładem może być tzw. rozszerzone o zjawisko tłumienia, równanie Mathieu. Uwzględnienie tłumienia w modelach układów, pozwalające na zbliżenie wyników symulacji do wyników eksperymentów na rzeczywistym obiekcie, może w obiekcie fizycznym prowadzić do ograniczenia możliwości powstania zjawiska rezonansu parametrycznego, może prowadzić do przesunięcia granic stateczności dynamicznej układu, a czasem wręcz do zmiany niestatecznego dynamicznie układu bez tłumienia, w układ stateczny.

Autorka niniejszej dysertacji zajęła się właśnie analizą wpływu różnych typów tłumienia, spotykanego w budowie i eksploatacji maszyn, na stateczność dynamiczną układów technicznych. Swoje rozważania przeprowadziła zarówno w obszarze modelowania matematycznego takich obiektów, jak również dokonała weryfikacji utworzonych modeli na przykładzie badania dynamiki układu zmiany wysięgu wybranego, konkretnego modelu żurawia samochodowego.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Uwagi ogólne

Autorka zawarł swoją pracę na 107 stronicach i podzielił ją na pięć głównych rozdziałów oraz szesnaście podrozdziałów, uzupełniając ją spisem rysunków, spisem tablic i jednym dodatkiem. Praca zawiera wykaz 197 pozycji literatury, z czego jedna pozycja jest normą, jedna – katalogiem, a dwie pozycje to adresy stron internetowych. Przywołane w pracy pozycje literatury sięgają od pracy Eulera z 1744 roku, przez pracę Lagrange’a z 1770 roku, pracę Faradaya z 1831, pracę Timoshenki z 1921 roku, aż do pracy Randa z 2022 r. Cztery pozycje to publikacje z ostatnich pięciu lat. Tylko jedna z cytowanych pozycji to pozycja współautorstwa Doktorantki

sprzed siedmiu lat. Trzydzieści pozycji literaturowych to prace autorstwa lub współautorstwa Promotora ocenianej dysertacji.

Po streszczeniu pracy w języku polskim i w języku angielskim oraz po zestawieniu znaczeń użytych w pracy symboli, Doktorantka zorganizowała treść dysertacji w następującym układzie.

W rozdziale pierwszym Doktorantka dokonała, poprzez wnikliwy przegląd literatury przedmiotu, analizy stanu wiedzy w obszarze zagadnień poruszanych w dysertacji. Przypomniała metody analizy układów wzbudzanych parametrycznie, szczególnie opisując dynamikę belek Bernoulliego-Eulera i ich stateczność dynamiczną. Następnie przyjęła podział typów tłumienia występującego w zagadnieniach budowy i eksploatacji maszyn, na tłumienie konstrukcyjne, tłumienie wewnętrzne i tłumienie zewnętrzne. W ostatniej części rozdziału pierwszego Doktorantka sformułowała problem dynamiki układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego, odwołując się do wielu prac z tego obszaru, a w szczególności przywołując dziewięć prac autorstwa, bądź współautorstwa swojego Promotora, Profesora Wojciecha Sochackiego, dwie prace Profesora Dawida Cekusa, a także dziewięć prac współautorstwa Profesora Dawida Cekusa oraz Profesora Bogdana Posiały, naukowców z macierzystego ośrodka Habilitantki – Politechnik Częstochowskiej. Należy zatem zauważyć, że tematyka dysertacji jest oparta na bogatym, twórczym doświadczeniu Promotora oraz Zespołu Naukowców, dając Doktorantce gruntowne podstawy do wykonania w tym obszarze kolejnego, autorskiego rozwinięcia tematyki drgań parametrycznych w matematycznym opisie i badaniu stateczności dynamicznej układów technicznych.

W dwustronicowym rozdziale drugim Doktorantka, po wnikliwej analizie literaturowej obszaru zainteresowań dysertacji oraz w wyniku własnych doświadczeń, sformułowała cel, tezę i zakres pracy. Celem pracy Doktorantki jest zatem „modelowanie i analiza stateczności dynamicznej układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego z uwzględnieniem wpływu różnego rodzaju tłumienia drgań na jego stateczność dynamiczną”, a postawiona teza brzmi: „uwzględnienie tłumienia drgań w układzie zmiany wysięgu żurawia samochodowego nie eliminuje możliwości utraty stateczności dynamicznej układu”.

W rozdziale tym Doktorantka zarysowała zakres prac, mających doprowadzić do osiągnięcia założonego celu pracy, dzieląc go na następujące obszary działań:

- 1) Omówienie użytej w pracy metodyki badań, poprzez przeprowadzenie analizy drgań, w tym także analizy stateczności dynamicznej belki Bernoulliego-Eulera, z uwzględnieniem tłumienia drgań. Doktorantka sformułowała i rozwiązała zagadnienie brzegowe drgań belki, sformułowała warunek ortogonalności funkcji własnych belki, przekształciła różniczkowe równania ruchu belki do postaci równania Mathieu, wyznaczyła pierwszy obszar niestateczności belki na karcie Strutta, za pomocą metody małego parametru, a następnie rozwiązała zagadnienia stateczności dynamicznej zamodelowanej belki;
- 2) Zamodelowanie układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego z uwzględnieniem tłumienia drgań, co wymagało zbudowania modelu fenomenologicznego układu, przeprowadzenia identyfikacji parametrów związanych z inercją i podatnością układu, wraz z zastosowanym tam układem linowym;
- 3) Sformułowanie i rozwiązanie zagadnienia drgań i stateczności dynamicznej układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego, w którym Doktorantka uwzględniła tłumienie drgań;
- 4) Sformułowanie zagadnienia drgań poprzecznych w płaszczyźnie podnoszenia wysięgnika, a następnie rozwiązanie tego zagadnienia i wyznaczenie jego funkcji własnych;
- 5) Określenie warunków ortogonalności funkcji własnych oraz sformułowanie problemu stateczności dynamicznej układu;
- 6) Dokonanie analizy rozwiązań otrzymanego równania Mathieu, opisującego stateczność dynamiczną badanego układu;
- 7) Wyznaczenie zakresów długości olinowania żurawia, przy wyznaczonych parametrach geometrycznych i fizycznych modelu fenomenologicznego, w odniesieniu do których Doktorantka otrzymała stateczne rozwiązania równania Mathieu;
- 8) Zbadanie wpływu rozważanych przez Doktorantkę w dysertacji rodzajów tłumienia, na stateczność dynamiczną układu żurawia samochodowego.

Na podkreślenie zasługuje swoboda, z jaką Doktorantka posługuje się złożonymi modelami matematycznymi badanych procesów oraz użycie do ich rozwiązywania, jak zadeklarowała, autorskiego oprogramowania Doktorantki oraz profesjonalnego

środowiska numerycznego Mathematica. Chciałbym jednak prosić o wyjaśnienie sensu i celowości używania zapisu matematycznego pochodnej cząstkowej funkcji wielu zmiennych, w postaci jak np. w równaniu (3.2): $\frac{\partial W(0,t)}{\partial x}$, $\frac{\partial^2 W(0,t)}{\partial x \partial t}$, $\frac{\partial W(l,t)}{\partial x}$ i w wielu innych miejscach. Zapis ten oznacza zapewne pochodną cząstkową funkcji $W(x,t)$ po zmiennej x , przy $x=0$ lub $x=l$, ale spodziewałbym się tutaj innej formy tego zapisu.

W szesnastostronicowym rozdziale trzecim Doktorantka dokonała analizy układu belki Bernoulliego-Eulera, podpartej przegubowo na swoich obydwu końcach, obciążonej cyklicznie zmieniającą się, osiową siłą ściskającą, z uwzględnieniem założonego tłumienia, wyznaczając, poprzez zastosowanie wariacyjnej zasady Hamiltona, równanie ruchu układu. Następnie Autorka wyznaczyła warunek ortogonalności funkcji własnych, po czym sformułowała zagadnienie stateczności dynamicznej układu, poprzez ocenę rozwiązań równania ruchu układu, uzyskanego w formie szeregu funkcji własnych, rozważając rezonans parametryczny w odniesieniu do pierwszej częstości drgań własnych układu. Ostatecznie Doktorantka uzyskała model matematyczny w formie rozszerzonego równania Mathieu, umożliwiający analizę zagadnienia stateczności dynamicznej układu z uwzględnieniem tłumienia. Ważnym fragmentem tego rozdziału dysertacji jest opis przeprowadzonych przez Doktorantkę badań wpływu rodzaju użytego tworzywa konstrukcyjnego belki, jak stal, miedź, aluminium i tytan, na jej stateczność dynamiczną, bez uwzględnienia tłumienia, a także z jego uwzględnieniem.

Autorka wyznaczyła następnie, za pomocą metody małego parametru, krzywe przejścia, odnoszące się do pierwszego obszaru niestatecznego. Wpływ tłumienia na postacie krzywych przejścia w równaniu Mathieu Doktorantka identyfikowała metodą tzw. rozwinięcia dwóch zmiennych. Doktorantka stwierdziła, że obszary rozwiązań niestatecznych na karcie Strutta ulegały zawężeniu, wraz ze wzrostem tłumienia w badanym układzie.

W dalszej części rozdziału trzeciego Doktorantka zbadała wpływ tłumienia konstrukcyjnego, tłumienia wewnętrznego i tłumienia zewnętrznego na stateczność dynamiczną belki Bernoulliego-Eulera. Ustaliła najpierw zakres rozwiązań niestatecznych, dotyczących belki bez tłumienia, a następnie uwzględniła

w modelach podpór belki tłumienie konstrukcyjne. Zabieg ten zwiększył stateczność dynamiczną układu, nie eliminując jednak w pełni możliwości wystąpienia zjawiska rezonansu parametrycznego. Wprowadzone z kolei do modelu tłumienie wewnętrzne nie doprowadziło do istotnych zmian stateczności dynamicznej układu, w porównaniu z wynikami uzyskanymi w przypadku modelu układu bez uwzględnienia tłumienia. Ważnym stwierdzeniem Doktorantki, wynikającym z przeprowadzonych analiz, jest wniosek, że uwzględnienie w modelu dynamicznym tłumienia zewnętrznego, w tym tłumienia ośrodka i tłumienia podpór, prowadzi do statecznych rozwiązań w całym analizowanym obszarze karty Strutta.

W rozdziale czwartym Doktorantka dokonała analizy wpływu tłumienia na stateczność dynamiczną zamodelowanego, rzeczywistego układu technicznego, którym był układ zmiany wysięgu konkretnego typu żurawia samochodowego. Autorka dysertacji przyjęła model fenomenologiczny do opisu dynamiki układu żurawia zakładając, że jest on złożony z elementów sugerujących zastosowanie belek Bernoulliego–Eulera z dodatkowymi, wybranymi elementami zdyskretyzowanymi, do odwzorowania postaci i własności takich podukładów, jak wysięgnik teleskopowy oraz siłownik hydrauliczny. Doktorantka sformułowała zagadnienie brzegowe, a następnie go rozwiązała, wyznaczając dynamiczne równania ruchu, stosując, jak wcześniej, wariacyjną zasadę Hamiltona. Postępując zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale trzecim Doktorantka wyznaczyła warunek ortogonalności oraz przekształciła dynamiczne równanie ruchu modelu fenomenologicznego żurawia samochodowego do postaci rozszerzonego równania Mathieu, wraz ze zidentyfikowanymi, zredukowanymi parametrami fizycznymi i geometrycznymi badanego układu. Zbudowany model matematyczny był następnie podstawą do przeprowadzenia analizy wpływu zmian geometrii i zmian obciążenia układu na jego częstości własne. Doktorantka dokonała tej analizy w odniesieniu do układu bez uwzględnienia tłumienia, a także z uwzględnieniem wpływu tłumienia w modelu układu, na jego wartości własne. Doktorantka, w wyniku przeprowadzonego eksperymentu numerycznego, zidentyfikowała możliwość wystąpienia zjawiska rezonansu parametrycznego w odniesieniu do wybranych wariantów zmian geometrii układu, spowodowanych zmianą kąta nachylenia wysięgnika żurawia, zmianą długości olinowania i zmianami przyjętego obciążenia, uwzględniając w swoich obliczeniach wpływ rozpatrywanych w dysertacji rodzajów

tłumienia na zachowanie bądź utratę stateczności dynamicznej modelu fenomenologicznego badanego układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego.

Rozdział piąty dysertacji zawiera podsumowanie uzyskanych wyników analizy matematycznej i badań numerycznych stateczności dynamicznej układów technicznych, które mogą być modelowane obiektami w postaci belek Bernoulliego–Eulera z dodatkowymi, wybranymi elementami zdyskretyzowanymi.

Doktorantka zaproponowała również dostrzegane przez Nią możliwe i potrzebne kierunki prowadzenia dalszych badań w tym obszarze.

3.2. Aspekty oryginalności ocenianej dysertacji

Oceniana dysertacja w całości jest pracą teoretyczną. Doktorantka szczegółowo rozważyła różne przypadki opisu i analizy belki Bernoulliego-Eulera, sprowadzając je do modeli matematycznych w postaci równania Mathieu. Tego typu przekształcenia są znane w literaturze przedmiotu, choć w ujęciu dysertacji mają charakter autorskich modeli Doktorantki. Ważnym elementem tych działań była szczegółowa analiza matematyczna zachowania, bądź utraty stateczności dynamicznej belki, w przypadku uwzględniania różnych typów tłumienia. Do poszukiwania rozwiązań tych modeli Doktorantka używała, jak deklaruje w pracy, własnego, autorskiego oprogramowania, a także profesjonalnego środowiska Mathematica, o dużych możliwościach obliczeniowych. Niestety, nie znalazłem w pracy fragmentów, pokazujących przygotowanie i przeprowadzenie obliczeń za pomocą tych narzędzi. Nie znalazłem również opisu wspomnianego, własnego narzędzia numerycznego Doktorantki.

Prosiłbym zatem Doktorantkę o informacje dotyczące autorskiego programu obliczeniowego, jego funkcji w prowadzonych eksperymentach numerycznych, a także o wyjaśnienie potrzeby budowania takiego oprogramowania w sytuacji, gdy Doktorantka dysponowała środowiskiem numerycznym Mathematica.

Proszę także o odpowiedź, czy Doktorantka porównywała prowadzenie własnych obliczeń stateczności dynamicznej przyjętych modeli układów wykonujących drgania parametryczne, z metodami wynikającymi z zastosowania Metody Elementów

Skończonych, z użyciem takich środowisk numerycznych, jak np.: ANSYS, Abaqus czy MATLAB.

Utworzony przez Doktorantkę model fenomenologiczny i model matematyczny przyjętego do analizy dynamicznej układu technicznego, którym był konkretny typ żurawia samochodowego, a także uzyskane na jego podstawie wyniki analizy matematycznej i analizy numerycznej, wraz z wysnutymi na tej podstawie wnioskami i zaleceniami, uznaję za oryginalny wkład Kandydatki do opisu dynamiki układów tłumionych, w szczególności do badań związanych ze statecznością dynamiczną układów poddanych drganiom parametrycznym. Budując model fenomenologiczny żurawia Doktorantka uwzględniła takie cechy rzeczywistego obiektu, jak:

- skokowa zmiana sztywności belki modelującej wysięgnik teleskopowy;
- zmienna geometria układu, opisana związkiem funkcyjnym między kątami φ i γ ;
- wpływ działania siły wynikającej z oddziaływania ładunku zawieszonego na zawiesiu linowym, na głowicę wysięgnika;
- wpływ cieczy hydraulicznej siłownika dokonującego zmiany wysięgu, na drgania parametryczne układu.

Pomimo przyjęcia przez Doktorantkę wielu uproszczeń, takich jak np.:

- nieodkształcalność podłoża pracującego żurawia samochodowego;
- nieodkształcalność podwozia żurawia samochodowego;
- nieodkształcalność obrotowej ramy żurawia;
- brak wpływu kąta obrotu wysięgnika na jego dynamikę;
- przyjęcie modelu tłoczyska siłownika zmiany wysięgu, jako układu belek sprężyste podpartych w kierunku wzdłużnym;

założone w dysertacji cechy obiektu badań istotnie podnoszą poziom trudności modelowania i rozwiązywania występujących tam zjawisk, związanych z jego statecznością dynamiczną.

Doktorantka postawiła sobie w dalszym etapie badań naukowych w tym obszarze ambitne cele, takie jak m.in.:

- identyfikacja obszarów niestatecznych układu żurawia samochodowego w całym zakresie zmian jego wysięgu,
- poszukiwanie korelacji między rozwiązaniami niestatecznymi, a zmianami geometrii układu żurawia,

- poszukiwanie parametrów analizowanych typów tłumienia, pozwalających na wyeliminowanie obszarów niestatecznych z zakresu pracy żurawia,
- eksperymentalna weryfikacja wyników prac teoretycznych.

Szczególnie ten ostatni cel, polegający na doświadczalnym poszukiwaniu obszarów niestateczności dynamicznej żurawia samochodowego, wprowadzanego podczas pracy w drgania parametryczne, przy uwzględnieniu tłumienia, wydaje się być bardzo trudny do realizacji.

3.3. Uwagi krytyczne

W pracy dostrzegłem następujące nieścisłości i drobne uchybienia, które nie wpływają na moją wysoką ocenę wartości merytorycznej dysertacji:

- Doktorantka konsekwentnie, w całej pracy, wielokrotnie używa niepoprawnej formy językowej z przyimkiem „dla” (jak np.: dla układów; dla różnych typów obciążenia; dla belki; dla rozwiązań; dla niekonserwatywnych układów; dla wielosegmentowego pręta, itp.),
- na str. 13 Doktorantka pisze o „najbardziej optymalnej geometrii”,
- na str. 14 znajduje się niezręcznie sformułowane zdanie: „W zależności od mechanizmów przeważających w danym układzie, to na jego ruch mogą wpływać różne rodzaje tłumienia”;
- na str. 15 zdanie: „Dodatkowo w maszynach stosowane są również specjalne dodatkowe aktywne bądź dynamiczne eliminatory drgań”;
- na str. 16 zdanie: „Najczęściej wykorzystywane do modelowania to wiskotycznym tłumik liniowy...”;
- na str. 17 zdanie: „W pracy [120] badano zagadnie stateczności”;
- na str. 21 zdanie: „S jest zmienną składową obciążenia”;
- na str. 23 zdanie: „moment bezwładności przekroju na zginanie J”;
- na str. 27 zdanie: „całkując przez części pierwszą całkę z równania ...”;
- na str. 28 i 55 Doktorantka używa formy osobowej czasownika, choć cała praca jest napisana w formie bezosobowej;
- na str. 44 zdanie: „co pozwala na transport ładunku na wysokość 34 metry”;
- na str. 57 zdanie: „Parametry fizyczne i geometryczne wykorzystane w badaniach układu i zostały zamieszczone w tabeli 4.1.”;

- na str. 70 zdanie: „... długości wysięgnika równych 15 mi 12 m”;
 - użyte na str. 21 sformułowanie: „wykonanie modelu fizycznego układu” mogłoby sugerować zbudowanie fizykalnego obiektu badań, choć takiego obiektu Doktorantka nie budowała;
 - na str. 39 współczynnik tłumienia „ $C_E = 1,0041 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ ” został zapisany w niezrozumiałych dla mnie jednostkach fizykalnych;
 - rys. 4.9 na str. 61 jest niepoprawnie narysowany (siły wewnętrzne w podporach zostały naniesione na układ bez ich uzewnętrznienia, a przegub w podporze B rozбивa ciągłość belki, co nie jest zgodne z modelowanym układem i powoduje utratę równowagi statycznej modelu);
 - na str. 65 Doktorantka używa określeń: „n – ilość pasm liny”, zamiast: „n – liczba pasm liny”, a także: „ A_l – przekrój liny”, zamiast: „pole powierzchni przekroju poprzecznego liny”,
- i wiele kolejnych, co świadczy o niezbyt starannej, ostatecznej korekcie tekstu pracy przez jej Autorkę,

4. Wniosek końcowy

Podjęty przez Doktorantkę temat jest ważnym problemem badawczym w zakresie trudnego do pełnego, analitycznego ujęcia zagadnienia stateczności dynamicznej dyskretno-ciągłych modeli fenomenologicznych maszyn roboczych, zawierających w swojej strukturze różne rodzaje tłumienia. Utworzone przez Doktorantkę modele matematyczne oraz uzyskane, poprzez ich implementację do badania stateczności dynamicznej żurawia samochodowego wyniki, stanowią oryginalny wkład Doktorantki w obszarze dynamiki układów tłumionych, mieszczącym się w pełni w zakresie zainteresowań dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Oceniam, że rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Garus zawiera, we właściwych proporcjach, wszystkie elementy oczekiwane w tego typu pracach, a więc: staranne, wnikliwe, obszerne studium literatury przedmiotu; sformułowanie na tej podstawie celu badawczego; postawienie tezy rozprawy; utworzenie autorskich modeli matematycznych zjawisk dynamicznych, będących istotą zainteresowań Doktorantki; uzasadniony wybór oraz szczegółową analizę obiektu badań; opis sposobu

prowadzenia badań i analizę uzyskanych wyników; właściwe wnioskowanie, w tym także w odniesieniu do dowiedzenia słuszności postawionej tezy rozprawy, a także wskazanie obszarów dalszych badań, niezbędnych do znalezienia rozwiązań problemów nie objętych zakresem przeprowadzonych w ramach tej dysertacji analiz.

Stwierdzam, że mgr inż. Justyna Garus udowodniła w swojej pracy doktorskiej, że potrafi sformułować cel badawczy, postawić tezę pracy, zaplanować i przeprowadzić konieczne badania teoretyczne z zastosowaniem zaawansowanych modeli matematycznych układów dyskretno-ciągłych, wyciągnąć na tej podstawie poprawne wnioski i sformułować własne, użyteczne praktycznie zalecenia projektowe i eksploatacyjne.

Biorąc pod uwagę uzyskane efekty recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Justyny Garus pt. „Stateczność dynamiczna tłumionych układów mechanicznych na przykładzie układu zmiany wysięgu żurawia samochodowego” stwierdzam, że opiniowana praca może być podstawą nadania stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U.2022.574, z późniejszymi zmianami, i wnoszę o dopuszczenie pracy do publicznej obrony. Wnoszę także o wyróżnienie opiniowanej dysertacji.

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie dysertacji:

Recenzowana dysertacja zasługuje, w mojej opinii, na wyróżnienie, z uwagi na oryginalność oraz poziom zaawansowania podejścia matematycznego, jako metody modelowania i rozwiązywania zagadnień inżynierskich. Doktorantka rozwiązała analitycznie złożone zagadnienie brzegowe belki Bernoulliego-Eulera, stosując równania różniczkowe cząstkowe wyższego rzędu oraz różne postacie równania Mathieu, co umożliwiło Autorce dokonywanie oceny stateczności dynamicznej w określonych zakresach i formach pracy konkretnego typu żurawia samochodowego, wzbudzanego do drgań parametrycznych z udziałem tłumienia. Zaproponowane podejście analityczne Doktorantki pozwala na wyznaczanie obszarów niestateczności dynamicznej utworzonego, zidentyfikowanego modelu fenomenologicznego, i stwarza podstawy do jego zastosowań w praktyce inżynierskiej do projektowania i eksploatacji maszyn.