

## **OPINIA**

**o rozprawie doktorskiej mgr inż. Anny Jablonki pt. „Analiza dynamiki konstrukcji przy nieciągłych w czasie wymuszeniach stochastycznych” dla Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Mechanicznego ZUT (Pismo WBiA SD/170/2019)**

### **1. Opis pracy**

Opiniowana praca składa się z dziewięciu rozdziałów. Rozdziały wstępne 1 – 2 to obszerny przegląd literatury na temat dynamiki statystycznej, podstaw matematycznych procesów punktowych i dynamiki konstrukcji, w tym konstrukcji poddanych obciążeniom nieciągłym w czasie pochodzącym np. od ruchu pojazdów. Niedyfuzyjne procesu Markowa w tym uogólnioną formułę Itô omówiono w Rozdziale 3. Równania momentów reakcji układów dynamicznych napunktowe obciążenia oraz asymptotyczne rozwinięcia gęstości prawdopodobieństwa podano odpowiednio w Rozdziałach 4 i 5. Poruszono zagadnienie zastąpienia momentów wyższych rzędów (domknięcia) przez momenty niższych rzędów w układach dynamicznych z nieliniowościami wielomianowymi. W Rozdziale 6 przedstawiono istotę sprowadzenia zadania niemarkowskiego do markowskiego poprzez rozszerzenie przestrzeni stanów oraz wyprowadzono równania momentów od 1-go do 4-go rzędu układu nieliniowego poddanego niepoissonowskiej serii impulsów. Rozdział 7 zawiera zmodyfikowane procedury zamykające układów poddanych procesom impulsowym generowanym przez procesy odnowy. W szczególności przedstawiono i omówiono właściwości łącznych funkcji gęstości prawdopodobieństwa składowych stanu i dystrybucyjnej gęstości stanów Markowa. Konsekwentnie zastosowano te gęstości do wyprowadzenia przybliżeń zamykających kumulant i quasi-momentów. Punkt 3 Rozdziału 7 jest analizą drgań nieliniowych belki sprężystej wywołanych serią impulsów działających w środku rozpiętości belki sprowadzonej do badania podstawowej postaci. Uwzględnienie efektu tłumienia wiskotycznego w równaniu dynamiki tej postaci prowadzi do analizy równania Duffinga. W dalszej części Rozdziału 7 przedstawiono na wykresach wyniki zastosowania proponowanych

wcześniej równań z zastosowaniem przybliżeń domykających oraz wyników uzyskanych tzw. metodą Monte Carlo. W Rozdziale 8 omówiono równania momentów odpowiedzi liniowego ciągłego układu dynamicznego poddanego obciążeniom ruchomym. W szczególności rozpatrzono przeszło mostu o przekroju skrzynkowym o przekroju zbliżonym do zbudowanej estakady w Koninie. Przyjęto obciążenie pochodzące od przejeżdżających pojazdów w postaci procesu Erlanga z całkowitym  $k=2,3,4$  o rozkładzie Rayleigha. Wyprowadzono wzory przedstawiające funkcje wartości średniej i funkcji korelacyjnej wzajemnej (przy uwzględnieniu  $t_1=t_2=t$ ) ugięcia belki. Obszernie przedstawiono wpływ różnych parametrów (w tym prędkości pojazdów) na wykres czasowy wartości średniej i wariancji ugięcia w środku przęsła. Rozdział 9 zawiera zebranie i interpretację wyników oraz dyskusję i ocenę dokładności otrzymanych wyników. Wymienione są również możliwości uogólnienia analizy i kierunki dalszych badań.

## 2. Ocena rozprawy

Zastosowanie nowych materiałów, zmniejszenie masy, zwiększenie różnorodności obciążeń, zwiększenie prędkości i warunków pracy spowodowało konieczność poznania procesów dynamicznych w dużych konstrukcjach poddanych ruchomym obciążeniom. Obciążenia te są w znacznej mierze losowe i niezależne od innych czynników. Po pionierskich pracach Bołotina i Lina dotyczących zastosowania metod analizy matematycznej procesów stochastycznych, w których często stosowano liniową teorię, pojawiły się próby stosowania nowych modeli matematycznych opisujących rzeczywiste obciążenie konstrukcji inżynierskich, takich jak np. udarnośćowe procesy urabiania węgla i skał, oddziaływanie przy zderzeniu ciał materialnych. W naturalny sposób ten rozszerzający się zakres badań nie mógł nie objąć tematyki oddziaływania strumienia pojazdów o różnych losowych parametrach na konstrukcje mostów i estakad. Po próbach opisu tych zjawisk procesem Poissona, dobrze opisującego zdarzenia rzadkie, od lat 70-tych ubiegłego wieku dążono do lepszego opisu bardziej złożonych i częstych zjawisk parametrów i uwzględnienia efektów nieliniowych. Problematyka ta jest wciąż aktualna, pojawia się wiele prac traktujących o rozszerzeniu klasy procesów stochastycznych stosowanych w obliczeniach inżynierskich i powstają nowe dziedziny stosowalności dynamiki statystycznej. Uważam zatem, że badanie dynamiki konstrukcji poddanych działaniu nieciągłych w czasie wymuszeń stochastycznych w różnych warunkach eksploatacyjnych może być przedmiotem rozprawy doktorskiej.

W pracy Autorka przyjmuje, jak wielu wcześniejszych badaczy, obciążenie z lokalizacją opisanym dystrybucją  $\delta$ -Diraca zarówno w czasie jak i przestrzeni. W tym fragmencie pracy brakuje założeń matematycznych niezbędnych w analizie. W pewnym stopniu prowadziło do konieczności oceny skuteczności obliczeń numerycznych dokonanych programem MATLAB na str. 77 i 119.

Rozdział 8 jest poświęcony analizie korelacyjnej drgań konstrukcji ciągłej poddanej zewnętrznej serii obciążeń ruchomych. W ramach tej teorii Autorka ściśle wyprowadza wzory określające średnie przemieszczenie i wzajemny zależny od czasu współczynnik korelacji nazwany przez Autorkę *funkcją korelacyjną*. Niestety w obliczeniach numerycznych zajmuje się tylko średnią i wariancją. Bardzo interesująca mogła być analiza tego współczynnika korelacji przemieszczenia i prędkości. Jeszcze bardziej interesująca byłaby analiza funkcji korelacyjnej  $E[q_j(t_1)q_k(t_2)]$ . Można by znaleźć odpowiedź na pytanie czy proces ma cechy stacjonarności po odpowiednio długim czasie  $t_1, t_2$ . Czy można by wprowadzić pojęcie współczynnika korelacji przemieszczenia i prędkości itp.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy doktorskiej uważam, że

- efektywne sprowadzenie niemarkowskiego problemu opisującego zachowanie układu dynamicznego poddanego niepoissonowskiej serii impulsów do zadania markowskiego,
- przeprowadzenie zmodyfikowanej procedury zamykającej dla układów dynamicznych z nieliniowością sześcienna dla kumulant i quasi-momentów,
- symulacyjne badania zachowania średniej i wariancji podstawowej postaci drgań przemieszczenia belki z nieliniowością sześcienną dla szerokiego parametru współczynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych
- wyprowadzenie równań średniej i wzajemnego współczynnika korelacji liniowego układu ciągłego poddanego losowych serii obciążeń ruchomych opisanych przez procesy odnowy wraz z obszerną symulacją numeryczną

są oryginalnymi elementami zadania naukowego mogącego być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

### 3. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

1. Całkowicie pominięto w przeglądzie źródeł wczesną oryginalną rosyjsko-języczną literaturę.
2. Przegląd piśmiennictwa jest zbyt mało krytyczny. W niektórych miejscach ogranicza się do zamieszczenia odsyłaczy z informacją, że zajmowano się określonym tematem.
3. W opisie matematycznym Autorka wielokrotnie stosuje dystrybucję  $\delta$ -Diraca. Zapomina jednak o definicji w miejscu, gdzie ten symbol występuje po raz pierwszy (str 10, wzór 2.26) i nazywany jest impulsem i dalej. Podaje nazwę dopiero na stronie 40 i to bez precyzyjnej definicji.

#### 4. Wniosek

Podsumowując, uważam że mgr inż. Anna Jabłonka w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułowała, rozwiązała i opisała oryginalne zadanie naukowe jakim jest zastosowanie procesów odnowy Erlanga do ogólnych układów dynamicznych poddanych serii impulsów stochastycznych nie będących procesami Markowa stochastycznymi oraz analiza drgań układów liniowych i nieliniowych będących modelami mostów. Symulacyjne badania pozwoliły na sformułowanie wniosków o charakterze zarówno poznawczym, jak i użytkowym. Ponadto wykazała się właściwym opanowaniem podstaw matematycznych dynamiki statystycznej, teorii drgań, mechaniki konstrukcji i stosowanych metod numerycznych.

Praca odpowiada warunkom stawianym przez obowiązującą Ustawę rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych wobec czego **stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Annę Jabłonkę do publicznej obrony.**

