Prof. dr hab. inż. Witold Cecot
Instytut Technologii Informatycznych w Inżynierii Lądowej
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Krakowska
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków
tel. 12-628-2167, e-mail: plcecot@cyf-kr.edu.pl

Kraków, 25 sierpnia 2017

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Łukasza Bąka p.t.

„Dobór parametrów pracy przesiewacza wykorzystującego zjawisko rezonansu parametrycznego"

Opinia została przygotowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 10 maja 2017, zlecenia prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa, Dziekana tego Wydziału, egzemplarza pracy doktorskiej oraz ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki [Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami Dz. U. z 2014 r. poz. 1852, z 2015 r. poz. 249, 1767] i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia z dnia 30 października 2015 [Dz. U z 2015 r., poz. 1842].

1. Przedmiot rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Łukasza Bąka dotyczy analizy eksperymentalnej i numerycznej drgań sit przesiewaczy, w których wykorzystuje się zjawisko rezonansu parametrycznego. Celem pracy było bliższe poznanie zależności skuteczności przesiewania od wybranych parametrów urządzenia, takich jak częstotliwość wymuszenia, siła naciągu sita decydująca m.in. o częstotliwości drgań własnych, wartości i częstotliwości siły modyfikującej naciąg sita, czyli parametrów zmienianych w celu wzbudzania rezonansu, ilość materiału podawanego do przesiewania.

Badania laboratoryjne wykonano na zaprojektowanym przez Doktoranta prototypie, w skali 1:3, wyposażonym w czujniki przyspieszenia podłączone do komputera z odpowiednim oprogramowaniem pozwalającym rejestrować i przetwarzać dane z czujników. Prototyp przesiewacza był również modelowany za pomocą odpowiednich równań, a obliczenia numeryczne dla przyjętych modeli wykonywano programami komercyjnymi, stosując albo wyłącznie metodę elementów skończonych (MES) albo łączenie z metodą hydrodynamiki wygładzonych cząstek (Smoothed Particle Hydrodynamics – SPH). To ostatnie podejście pozwoliło w efektywny sposób uwzględnić w modelowaniu drgań sita masę przesiewanego materiału w sposób bardziej realistyczny niż przy wstępnej analizie, gdzie modelowano materiał przesiewowy jako masę ściśle związaną z sitem. Autor zaproponował i z powodzeniem zastosował uproszczony model sita, pozwalający wykonać obliczenia przy

pat

stosunkowo niewielkiej liczbie stopni swobody, a polegający na zastąpieniu rzeczywistego obiektu sitem o większych otworach albo płytą bez otworów. Przenalizował przy tym jakie parametry powinny mieć uproszczone schematy aby wyniki obliczeń niewiele różniły się od uzyskiwanych dla faktycznych elementów konstrukcji.

W badaniach eksperymentalnych, przeprowadzonych w laboratorium na wspomnianym prototypie, badano wpływ siły naciągu na częstotliwość drgań własnych sita, poszukiwano częstości i wartości zmian siły modyfikującej naciąg, dla której zachodzi rezonans parametryczny oraz badano wpływ wilgotnej masy przesiewanej na rezonans parametryczny sita. Pomiary wykonane na prototypie w laboratorium były porównane z obliczeniami numerycznymi w których analizowano albo samo sito albo sito wraz z ramą, w której sito jest zamocowane.

Podsumowaniem pracy są wstępne wnioski dotyczące technicznych aspektów konstrukcji przesiewaczy wykorzystujących rezonans parametryczny.

2. Ocena pracy

W pracy analizowano zagadnienie ważne z praktycznego punktu widzenia i ciekawe z punktu widzenia modelowania numerycznego zadania. Do oryginalnych elementów rozprawy należy moim zdaniem zaliczyć:

- opracowanie laboratoryjnego prototypu urządzenia przesiewającego
- zaproponowanie kilku modeli matematycznych przesiewacza
- walidacja modeli numerycznych przez porównanie wyników obliczeń z pomiarami laboratoryjnymi dla wybranych przykładów pokazująca bardzo dobrą zgodność mierzonych i obliczanych częstotliwości rezonansowych
- przedstawienie wniosków technicznych.

Uważam, że tematyka pracy jest aktualna. Wykonane prace pozwoliły sfomułować wstępne wskazówki na temat projektowania przesiewaczy oszczędnych energetycznie, korzystających ze zjawiska rezonansu parametrycznego. Praca wymagała od Doktoranta bardzo dobrego przygotowania z zakresu technik eksperymentalnych i modelowania numerycznego za pomocą komercyjnego oprogramowania. Moim zdaniem praca jest dobrym wstępem do bardziej precyzyjnego i kompleksowego modelowania rozważanych przesiewaczy i tym samym zaproponowania zmian konstrukcyjnych zwiększających niezawodność tych urządzeń.

Rozprawa jest bardzo dobrze napisana pod względem językowym i redakcyjnym. Rysunki, tabele, zdjęcia są właściwie dobrane. *State-of-the-art* zagadnienia przedstawiono wyczerpująco.

Jak zwykle możliwe są pewne jej ulepszenia, a nasuwające się uwagi krytyczne zestawiono poniżej.

pcd

Uwagi ogólne

i. W pracy zabrakło jednoznacznego, precyzyjnego sformułowania rozwiązywanego problemu. Na stronie 28 podane jest klasyczne równanie dla płyt cienkich, podczas gdy w opisie obliczeń numerycznych jest mowa o powłokach (np. str. 32, 35). Ponadto nie uzasadniono dlaczego uwzględniane są tylko małe przemieszczenia, podczas gdy wyniki pokazują, że przemieszczenia mogą osiągać duże wartości w porównaniu z grubością sita.

ii. Zabrakło opisu efektu skalowania modelu wykonanego w skali 1:3. Jak zmiana wymiarów wpływa na zmianę częstotliwości drgań albo wartość siły wymuszającej dającej tę samą częstotliwość dla prototypu i rzeczywistego urządzenia?

iii. Analiza wyników numerycznych nasuwa dwa pytania. Czy zastosowane siatki MES zapewniają odpowiednio mały błąd aproksymacji? Dlaczego *Ansys* i *Abaqus* dają niejednakowe wyniki (Tabela 3.3)?

iv. Zastąpienie płyty z otworami płytą pełną jest dobrym pomysłem. Można to zrobić stosując jedną z wielu technik homogenizacji. Jest to uwaga do rozważenia w dalszych pracach Doktoranta.

v. Obliczenia miały służyć poznaniu stanu naprężenia, a następnie wyciągnięcia wniosków na temat zmęczenia materiału sita. Nie znalazły się w pracy uwagi na ten temat.

Uwagi szczegółowe i redakcyjne

i. Nie zamieszczono informacji jak na efektywność przesiewania wpływa kąt nachylenia sita, pomimo, że regulacja tego kąta była możliwa w modelu laboratoryjnym, jak to wynika z opisu na str.19.

ii. Nie zdefiniowano funkcji $f(p)$ omawianej na str. 30,31. Należy się domyślać, że jest to lewa strona równania (3.8). Jednocześnie nie można się zgodzić z twierdzeniem, że równanie $f(p)=0$ jest źle uwarunkowane, gdyż jeżeli wykres funkcji f jest bardzo stromy to mała zmiana jej parametrów, jeżeli powoduje tylko zmianę gradientu nachylenia wykresu, nie spowoduje dużej zmiany poszukiwanego miejsca zerowego. Ponadto, jeżeli małej zmianie argumentu p towarzyszy duża zmiana wartości funkcji to tym łatwiej znaleźć dobre przybliżenie miejsca zerowego.

iii. Na str. 32 w komentarzu do wzoru (3.12) napisano, że macierz mas jest „określona jako dodatnia". Powinno być napisane, że jest dodatnio określona.

iv. Nie wyjaśniono jaka jest motywacja wzoru (3.14), definiującego zastępczy moduł Younga.

v. Na str. 37, 38 opisano modelowanie kontaktu masy przesiewanej z sitem. Warto byłoby zapisać ściśle jakim warunkom odpowiada typ kontaktu *bonded* w tym przypadku (połączenie elementów powłokowych z 3D). Czy zgodność aproksymacji w węzłach gwarantuje jej zgodność wzdłuż całego wspólnego brzegu?

UCD

vi. W rozdziale 3.6 przedstawiono wyniki obliczeń różnymi modelami. Który model najlepiej odpowiada pomiarom eksperymentalnym?

vii. Na str. 46 napisano, że naprężenia wstępne są brane pod uwagę w analizie modalnej. Warto podać równania, które pokazują w jaki sposób te naprężenia są uwzględnianie.

viii. Str. 47. Opisany proces na ogół nazywany jest walidacją (sprawdzaniem czy przyjęte równania są odpowiednie), a nie weryfikacją (sprawdzenie czy przyjęte równania są dobrze rozwiązywane).

ix. Na rys. 4.2 pokazano m.in. bardzo dobrą zgodność modelowanej i mierzonej częstotliwości drgań własnych. Czy podobnie wygląda porównanie przemieszczeń?

x. W komentarzu do wzoru (5.1) obszar Ω błędnie nazwano przestrzenią.

xi. We wzorze (5.4) nieskończoność powinna odpowiadać sytuacji $r=r'$

xii. Definiując model w rozdz. 5.2 dobrze byłoby napisać komplet równań, a nie tylko wybrane równania.

xiii. Na str. 87 nie zdefiniowano precyzyjnie przyjętego obciążenia kinematycznego.

xiv. W pozycji literatury [75] zastosowano zarówno język angielski jak i polski.

3. Podsumowanie i wnioski

W moim przekonaniu praca porusza ważne i ciekawe zagadnienie oraz wnosi elementy oryginalne do modelowania numerycznego oraz badań eksperymentalnych. Autor w swojej pracy umiejętnie połączył różnorodne obszary wiedzy. Podniesione przeze mnie uwagi mają charakter dyskusyjny, nie mają istotnego wpływu na ocenę wartości pracy i oceniam ją wysoko. Uważam, że rozprawa mgr inż. Łukasz Bąka spełnia wszelkie wymogi przepisów dotyczących prac doktorskich.

Wnoszę o przyjęcie opiniowanej rozprawy jako pracy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.