Dr hab. inż. Stanisław KUT, prof. nadzw. PRz
Zakład Konstrukcji i Wytwarzania Maszyn
Wydział Mechaniczno-Technologiczny
Politechniki Rzeszowskiej w Stalowej Woli
ul. Kwiatkowskiego 4
37-450 Stalowa Wola

Stalowa Wola, 07.07.2017

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza BĄKA pt. „Dobór parametrów pracy przesiewacza wykorzystującego zjawisko rezonansu parametrycznego"

Podstawa opracowania: Pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej Prof. dr hab. inż. Jarosława SĘPA, nr RM-530-9-03-2017 z dnia 11 maja 2017 roku.

1. Ocena wyboru tematu pracy

W czasach obecnych trudno znaleźć dziedzinę techniki, która nie byłaby w większym lub mniejszym stopniu związana z procesami drganiowymi. Dążenie do otrzymywania trwałych, niezawodnych i wysokowydajnych maszyn, przy jednoczesnym zachowaniu jak najniższej ich energochłonności, wymaga znajomości i oceny cech dynamicznych tych maszyn. W zdecydowanej większości, drgania mechaniczne towarzyszące pracy maszyn i konstrukcji są szkodliwe lub wręcz niebezpieczne. Konstruktor przed skonstruowaniem maszyny czy też innego obiektu, powinien przeprowadzić niezbędne obliczenia dla wyznaczenia choć przybliżonych wartości częstości drgań swobodnych poszczególnych elementów konstrukcji, w celu wyeliminowania możliwości powstawania drgań rezonansowych. W przypadkach, kiedy uniemożliwienie powstawania drgań jest nieosiągalne, w celu zmniejszenia ich intensywności stosuje się różnego rodzaju amortyzatory i tłumiki.

Trzeba jednak podkreślić, że w wielu przypadkach szczególne właściwości i osobliwości drgań mogą być pożytecznie wykorzystane, w celach realizacji czy też ułatwienia wielu procesów technologicznych. Przykładem takiego procesu jest proces przesiewania kopalin, który w praktyce przemysłowej realizowany jest z wykorzystaniem przesiewaczy o różnej budowie. Jak słusznie zauważa Autor recenzowanej rozprawy, wiele problemów pojawia się podczas przesiewania materiałów kopalnianych naturalnie wilgotnych, gdzie zachodzi konieczność rozbijania zlepionych grudek wydobywanych kopalin. W takich przypadkach zastosowanie znajdują najczęściej przesiewacze wibracyjne wykorzystujące tzw. efekt wibro-uderzeniowy. Najogólniej ujmując, w przypadku typowych przesiewaczy wibracyjnych w drgania wprowadzane jest całe rzeszoto co wymaga stosowania "masywnych" przesiewaczy, które zarazem charakteryzują się dużą konsumpcją energii. Zmniejszenie masy przesiewacza oraz uproszczenie jego konstrukcji, a co za tym idzie zmniejszenie zużycia energii, można uzyskać przez zastosowanie przesiewacza pracującego w warunkach rezonansu parametrycznego. Przesiewacz wykorzystujący drgania sita w warunkach rezonansu parametrycznego jest innowacyjną konstrukcją opatentowaną na Ukrainie w 2009 roku przez braci Slepyan i Loginova, która pozwala na maksymalne wykorzystanie energii dostarczonej do układu.

Z tak nakreślonej perspektywy, tematyka recenzowanej rozprawy mgr inż. Łukasza Bąka pt. „Dobór parametrów pracy przesiewacza wykorzystującego zjawisko rezonansu parametrycznego" jest aktualna i jak najbardziej uzasadniona, zarówno ze względów aplikacyjnych jak i poznawczych. Wpisuje się ona w rozwój gałęzi techniki, tzw. techniki wibracyjnej.

Praca została zrealizowana w ramach projektu 7th FP People Programme Marie Curie Industry-Academia Partnerships and Pathways - PARM-2, grant nr 284544.

2. Omówienie rozprawy

Przedłożona do oceny dysertacja została przygotowana w formie oprawionego jednostronnego wydruku komputerowego formatu A4 o objętości 98 stron. Struktura pracy nie odbiega od przyjętych standardów dla tego rodzaju opracowań. Praca zawiera 44 rysunki (w tym fotografie), 28 wykresów oraz 30 tabel, których nie zamieszczono na odrębnych wykazach. Bibliografia obejmuje 92 spisane w porządku alfabetycznym pozycje literaturowe. Jest dość jednorodna, dobrze powiązana z tematyką pracy. Brak jest jednak odwołań do opracowań własnych pomimo, że mgr inż. Łukasz Bąk jest współautorem kilku publikacji z tego zakresu. Alfabetyczne uporządkowanie spisu literatury prawdopodobnie Doktorantowi przysporzyło pracy, a czytającemu nie ułatwia bynajmniej śledzenia odniesień literaturowych. Zapewne wygodniej byłoby gdyby bibliografia podana była w kolejności cytowania w tekście rozprawy. Wówczas Autor uniknąłby takich nieścisłości jak np. w poz. 16 na str. 93 gdzie nazwisko Silva poprzedzone przyimkiem de znajduje się pod "D" zamiast "S".

Praca nie zawiera wykazu ważniejszych oznaczeń i składa się z sześciu rozdziałów. Rozdział pierwszy (Str. 4-14) stanowi wprowadzenie oraz analizę stanu zagadnienia dokonaną na podstawie przeglądu literatury. Doktorant powołuje się na konkretne opracowania z zakresu przesiewania i przesiewaczy. Przedstawia aktualną klasyfikację przesiewaczy pod względem konstrukcyjnym. Odwołuje się do wielu prac badaczy krajowych i zagranicznych z zakresu obliczeń dynamicznych przesiewaczy, w tym analizy drgań z wykorzystaniem różnych metod numerycznych. Rozdział kończy zdefiniowanie celu i zakresu pracy.

W rozdziale drugim (str. 15-27) zostały przedstawione zagadnienia związane z konstrukcją i budową oryginalnego przesiewacza laboratoryjnego, na którym Doktorant realizował badania eksperymentalne. Został przedstawiony opis, założenia konstrukcyjne, a także parametry zbudowanego przesiewacza PR wraz z doborem poszczególnych elementów jak: sprężyny, wibratory wymuszające drgania, przemiennik częstotliwości itd. Zostało również przedstawione oprzyrządowanie pomiarowe wykorzystywane do pomiaru częstotliwości i amplitudy drgań sita, a także do pomiaru siły naciągu sita, częstotliwości wymuszenia wzbudników itd.

Rozdział trzeci (str. 28-43) zatytułowany „Dynamiczna analiza drgań sita wibracyjnego" dotyczy różnych podejść Doktoranta do analizy drgań własnych sita. W pierwszym podejściu literaturowym analizę teoretyczną drgań własnych sita przeprowadzono z założeniem modelu płyty płaskiej bez otworów, w której dwie przeciwległe krawędzie są swobodnie podparte, natomiast dwie pozostałe są swobodne. Przedstawiono dla tego przypadku obszary deformacji dla czterech postaci drgań własnych płyty swobodnie podpartej na dwóch krawędziach. Następnie dla poszczególnych postaci drgań własnych płyty obliczono na podstawie rozwiązania teoretycznego częstotliwości drgań własnych, które zestawiono w Tab. 3.1 na str. 31.

W drugim podejściu do wyznaczenia drgań własnych sita zastosowano analizę modalną dostępną w komercyjnym oprogramowaniu bazującym na metodzie elementów skończonych. Zbudowano model sita rzeczywistego z otworami i założono warunki brzegowe jak wcześniej. Obliczenia czterech pierwszych postaci drgań sita oraz odpowiadające im częstotliwości drgań własnych obliczano za pomocą dwóch niezależnych programów tj. Ansys i Abaqus. W trzecim podejściu w celu zmniejszenia czasu obliczeń sita z otworami obliczenia wykonano zastępując sito z otworami sitem pełnym, które stanowiło model zastępczy sita rzeczywistego. Uzyskane wyniki zestawiono w tab. 3.3. oraz 3.4. Wykonano także analizę wpływu ilości otworów na obliczone postaci i częstości drgań własnych poprzez proporcjonalne zwiększanie ich wielkości, a wyniki zamieszczono w tab. 3.5 oraz 3.6.

Kolejne wyniki obliczeń numerycznych zamieszczone w tym rozdziale dotyczyły wyznaczenia czterech pierwszych postaci drgań i odpowiadających im częstotliwości drgań własnych z uwzględnieniem warstwy materiału na sicie. Doktorant zastosował tutaj dwa podejścia. W pierwszym na powierzchnię sita została nałożona warstwa materiału o grubości 5 oraz 10 mm w postaci jednolitej bryły. W drugim zastosowano model z naniesionym materiałem przesiewanym w postaci sferycznych cząstek. Wyniki zamieszczono w tab. 3.7 oraz 3.8. Rozdział ten kończy dyskusja wyników i wnioski na str. 40-43.

Najbardziej obszernym (str. 44-79), a jednocześnie chyba najbardziej wartościowym pod względem przeprowadzonych badań jest rozdział 4 zatytułowany „Eksperymentalna i numeryczna analiza drgań parametrycznych sita przesiewacza" W pierwszej jego części Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne z zastosowaniem płyty bez perforacji w miejsce sita rzeczywistego. Następnie obliczył pierwszą częstotliwość drgań własnych płyty dla czterech różnych sił naciągu płyty z wykorzystaniem zależności literaturowej dla modelu struny, co zaproponował konstruktor pierwszego przesiewacza PR – V. I. Slepyan. Druga metoda określenia częstotliwości drgań własnych w zależności od siły naciągu płyty zastosowana przez Doktoranta, polegała na zbudowaniu modelu MES i wykonaniu obliczeń w programie Ansys Workbench. Ze względu na liniowy charakter analizy modalnej, właściwości wszystkich materiałów określono jako sprężyste dla wszystkich analizowanych komponentów zespołu. Obliczone i wyznaczone eksperymentalnie wartości częstości drgań zespołu przesiewającego zestawiono w tabeli 4.5. Na podstawie badań eksperymentalnych mgr inż. Łukasz Bąk wyznaczył tzw. charakterystyki amplitudowo czasowe oraz charakterystyki amplitudy przyśpieszenia od częstotliwości drgań dla różnych sił naciągu i częstotliwości wymuszenia. Przebieg charakterystyk amplitudy przyśpieszenia od częstotliwości Doktorant wyznaczył również na podstawie wyników analizy numerycznej drgań płyty w warunkach rezonansu parametrycznego. Następnie porównał ze sobą uzyskane wyniki i skomentował uzyskane różnice między pomiędzy nimi. Przeprowadził eksperymentalne i numeryczne badania wpływu częstotliwości i siły wymuszającej drgania na ich amplitudę. Autor wykazał, że największe wartości naprężeń zastępczych w sicie występują w obszarze jego mocowania.

W rozdziale piątym Autor opisuje możliwości zastosowania tzw. metody wygładzonej hydrodynamiki cząstek (ang. Smoothed Particle Hydrodynamics) SPH w modelowaniu procesu przesiewania z uwzględnieniem przesiewanego materiału. W metodzie tej ośrodek ciągły opisany jest równaniami różniczkowymi w dyskretnych punktach. Każdy punkt ma przypisane właściwości fizyczne tj. masę, gęstość, pozycję, prędkość itp. Punkty te przemieszczają się wraz z odkształcaniem się materiału. Ta bezsiatkowa metoda obliczeń numerycznych wykorzystywana jest w wielu gałęziach nauki np. astrofizyce, mechanice płynów czy mechanice gruntów. Autor charakteryzuje założenia tej metody, której zaletą stosowania podczas przesiewania jest możliwość separacji cząstek materiału. Przeprowadził

dwie symulacje modelowania przesiewania metodą SPH z wykorzystaniem oprogramowania Abaqus. Pierwsza dotyczyła analizy swobodnego spadku materiału na sito utwierdzone na krawędziach. W drugiej natomiast analizowano wpływ ruchu sita na przebieg procesu przesiewania. W tym przypadku na sicie utwierdzonym na dwóch przeciwległych krawędziach, wymuszono ruch harmoniczny o amplitudzie 10 mm i częstotliwości 25 Hz. W odróżnieniu od modelu rzeczywistego w modelu SPH zastosowano wymuszenie kinematyczne bez uwzględnienia napięcia wstępnego sita.

W rozdziale szóstym (str. 90-92) zamieszczono podsumowanie oraz wnioski końcowe.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W punkcie tym chciałem przedstawić pewne wątpliwości oraz uwagi krytyczne i dyskusyjne, które nasunęły mi się po zapoznaniu się z recenzowaną rozprawą. Najważniejsze z nich to:

1. W klasyfikacji konstrukcyjnej przesiewaczy wg. Banaszewskiego (str. 8, Rys. 1.2) badany przesiewacz PR Autor na 6 stronie rozprawy sklasyfikował jako przesiewacz sitowy płaski z bezpośrednim wzbudzeniem sit. W przypadku przesiewaczy z bezpośrednim wzbudzeniem sit drgania są przenoszone od wzbudników bezpośrednio na sito. Powoduje to tylko ruch sita natomiast rzeszoto jest nieruchome. Z kolei w przypadku klasycznych przesiewaczy wibracyjnych w drgania wprowadzane jest całe rzeszoto. Przesiewacz PR posiada dwie belki o masach znaczących w porównaniu z masą sita, które wprowadzane są w drgania za pomocą wzbudników bezwładnościowych. Drgania samego sita występują w konsekwencji wymuszenia parametrycznego, gdyż podczas wymuszenia drgań belek zmienia się co najmniej sztywność układu, a podczas przesiewania również i jego masa. Czy w związku z powyższym, nie lepiej byłoby sklasyfikować ten przesiewacz jako sitowy płaski wibracyjny rezonansowy, wykorzystujący zjawisko rezonansu parametrycznego sita?
2. Moim zdaniem cel pracy jest mało precyzyjnie i zbyt ogólnie sformułowany. Na str. 14 czytamy cyt.: *„Celem pracy jest zbadanie wpływu wybranych parametrów przesiewacza pracującego w zakresie rezonansu parametrycznego (siły naciągu sita, częstotliwości wymuszenia, siły wymuszającej, pochylenia sita) na jego eksploatację"* Po pierwsze, aby badać wpływ ww. parametrów w zakresie rezonansu parametrycznego należy dobrać parametry układu tak aby ten rezonans uzyskać. Po drugie nie wiadomo co rozumieć pod pojęciem *„na jego eksploatację"*, gdyż wyników takich badań w niniejszej pracy mi brakuje. Nie ma również wzmianki w rozprawie o wpływie pochylenia sita pomimo wyszczególnienia tego parametru w celu pracy. Czy w ogóle wpływ pochylenia sita badano? Dlatego podstawowym celem pracy powinno być wyznaczenie częstości drgań swobodnych sita dla kilku określonych lub przynajmniej pierwszej postaci drgań i różnych sił naciągu sita, a ponadto dobór częstości wymuszenia w celu uzyskania podstawowego rezonansu parametrycznego, a następnie badanie wpływu siły wymuszającej na amplitudę drgań w zależności od siły naciągu sita. Częstość, postać i amplituda drgań sita to podstawowe parametry, które mają istotny wpływ na jego żywotność podczas pracy w warunkach rezonansu parametrycznego. Taki cel właściwie Doktorant w pracy realizował.

3. W pracy nie zamieszczono planu ani metodyki prowadzonych badań zarówno eksperymentalnych jak i numerycznych. Czytając pracę można odnieść wrażenie, że część symulacji numerycznych nie jest bezpośrednio ukierunkowana na osiągnięcie celu pracy. Czy plan badań był opracowany?
4. Autor w rozprawie na Str. 18. przedstawia tylko warunek dla podstawowego rezonansu parametrycznego, kiedy to iloraz częstości drgań własnych ω_2 do częstości wymuszenia zmian parametrów ω_1 wynosi ok. 0,5 tj. $(\omega_2/\omega_1) = 0,5$ Jak pokazują przykłady badania stateczności układów parametrycznych rezonans parametryczny występuje także kiedy np. $(\omega_2/\omega_1) = 1$; $(\omega_2/\omega_1) = 1,5$; $(\omega_2/\omega_1) = 2$. Dlaczego Autor w rozprawie nawet nie wspomniał o takich przypadkach? Czy były przeprowadzane próby wprowadzania sita w rezonans w innych obszarach częstości niż $(\omega_2/\omega_1) = 0,5$?
5. Doktorant w rozprawie naprzemiennie posługuje się pojęciami częstość i częstotliwość drgań. Częstość drgań została oznaczona jako ω natomiast częstotliwości nie zostało przypisane w pracy żadne oznaczenie. Dla uniknięcia ew. nieporozumień czy niejasności należałoby zdefiniować i wyjaśnić w treści rozprawy te pojęcia gdyż pomimo, że mają tą samą jednostkę częstość zwana również częstością kołową drgań jest o 2π razy większa od częstotliwości.
6. Na schemacie budowy przesiewacza PR (Rys. 2.4 str. 18) napęd stanowią dwa wibratory bezwładnościowe wymuszające drgania postępowe powodując rozciąganie i ściskanie sita, a tym samym zmianę sztywności układu w dużym zakresie, korzystną do wywołania rezonansu parametrycznego z dużymi wartościami amplitudy drgań poprzecznych sita. Dlaczego zatem, w przesiewaczu laboratoryjnym Doktorant zastosował dwa wibratory bezwładnościowe wymuszające drgania obrotowe? Zastosowanie tego typu wibratorów w wykonanym przez Doktoranta przesiewaczu powoduje, iż siła wymuszająca ma kierunek promienia łączącego środek obrotu ze środkiem masy niewyważonej, a zatem jest prostopadła do osi obrotu i obraca się dookoła tej osi z prędkością obrotową wału. Moim zdaniem takie wymuszenie jest znacznie bardziej niekorzystne, gdyż oprócz zmiany sztywności układu z określoną częstością wprowadza dodatkowy ruch oscylacyjny belek w kierunku prostopadłym do powierzchni sita, a ponadto powoduje skręcanie belek przesiewacza co może skutkować zmniejszeniem amplitudy drgań sita w warunkach rezonansu parametrycznego oraz pogarsza jego warunki, to jest zawęża zakres częstotliwości rezonansowych co z oczywistych względów jest w tym przypadku bardzo niekorzystne. Czy takie niekorzystne efekty jak np. skręcanie belek były obserwowane?
7. Zastosowanie w przesiewaczu laboratoryjnym podkładek gumowych w miejscu mocowania sita (rys. 2.8 na str. 21) wprowadza do analizowanego układu nieliniowość i tłumienie. Jest to bardzo niekorzystne zarówno z punktu modelowania i analizy drgań układu jak również jego zachowania w warunkach rzeczywistych. Przykładowo częstość drgań swobodnych układu liniowego nie zależy od warunków początkowych, a zwłaszcza amplitudy. W układach nieliniowych natomiast częstość drgań swobodnych zależy ponadto od amplitudy i traci tutaj sens pojęcie częstości drgań

własnych. W układzie liniowym zmiana częstości drgań swobodnych możliwa jest np. poprzez zmianę sztywności i masy układu, w układzie nieliniowym wystarczy zmienić tylko amplitudę. W związku z powyższym sugerowałbym przeprowadzić badania eksperymentalne bez zastosowania elementów gumowych aby w dalszej części można było ewentualnie określić ich wpływ na nieliniowe zachowanie się układu, gdyż jak wiadomo włączenie elementów nieliniowych do układu drgającego może w znacznym stopniu osłabić skutki rezonansu. Czy może przeprowadzano już takie próby? Myślę, że wyniki takich badań byłyby bardzo interesujące.

8. Czy podczas przeprowadzania badań eksperymentalnych zarejestrowano przypadki występowania innych postaci drgań sita niż pierwsza lub przypadki nakładania się różnych postaci drgań? Poprawna identyfikacja postaci drgań płyty jest bardzo ważna przy wyznaczaniu częstości drgań swobodnych, gdyż każdej postaci drgań odpowiada inna częstość drgań swobodnych.
9. W tabeli 3.3 na str. 34 zestawiono wyniki obliczeń numerycznych częstotliwości drgań własnych płyty swobodnie podpartej na dwóch dłuższych krawędziach wykonane w programach komercyjnych Ansys i Abaqus. Z przedstawionych wartości częstotliwości drgań własnych wynika, że różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w poszczególnych programach są bardzo małe (średnio ok. 0,1 Hz). Rodzi się więc pytanie. Czy wszystkie zastosowane parametry modeli i modelowania oraz rodzaj analizy i przyjęte założenia były jednakowe w obydwu programach? Jeśli tak, to porównywanie wyników z różnych programów bazujących na tej samej metodzie obliczeniowej nie ma większego sensu. To trochę tak jakby działania arytmetyczne wykonywać na kalkulatorach różnych producentów i porównywać uzyskane wyniki. Takie porównanie moim zdaniem miałoby sens gdyby np. w porównywanych programach były zastosowane inne procedury obliczeniowe, modele matematyczne lub przynajmniej różne parametry siatki niedostępne jednocześnie w obydwu porównywanych ze sobą programach.
10. W tabeli 4.2 na str. 45 wśród właściwości mechanicznych jest cyt. *„granica wytrzymałości [MPa]"* a poprawnie powinno być wytrzymałość na rozciąganie.
11. Co jest powodem uzyskania niemal idealnej zbieżności częstotliwości drgań obliczonych numerycznie i wyznaczonych eksperymentalnie zamieszczonych w tab. 4.5 na str. 47? Z założenia wartości te powinny się różnić chociażby z tego względu, że w symulacji obliczono częstość drgań własnych płyty, natomiast w eksperymencie wyznaczono częstość jej drgań swobodnych. Przecież w układzie rzeczywistym występuje tarcie, opory, tłumienie oraz elementy nieliniowe co w ogóle nie zostało uwzględnione w obliczeniach numerycznych. Czyżby uzyskanie tak dużej zbieżności było dziełem nieświadomego błędu lub przypadku?
12. Czy w badaniach doświadczalnych brano pod uwagę inny sposób określenia częstości drgań swobodnych płyty przesiewacza laboratoryjnego np. poprzez jednorazowe wymuszenie drgań o określonej amplitudzie i pomiar ich częstotliwości? Takie doświadczenie byłoby niezwykle cenne, gdyż na podstawie wyników uzyskanych dla różnych wartości amplitudy początkowej można by oszacować w jak dużym stopniu badany układ przesiewacza jest nieliniowy. Badania takie można by także przeprowadzić dla układu bez zastosowania elementów gumowych.

13. Dlaczego w modelach numerycznych zespołu przesiewającego przedstawionych na rys. 4.10 na str. 54 oraz na rys. 4.29 na str. 75 zastosowano wymuszenie prostoliniowe F1 działające w płaszczyźnie sita oraz F2 prostopadle do płaszczyzny sita? Przecież wibratory zastosowane w przesiewaczu laboratoryjnym wymuszają drgania obrotowe, a nie prostoliniowe. Należało więc zastosować schemat obciążenia modelu zespołu przesiewającego, w którym siła wymuszająca jest określona kątem. Dla przykładu takie obciążenie modelu obliczeniowego przesiewacza zastosowali Danielczyk i Wróbel, co przedstawili w artykule pt. Komputerowo wspomagana analiza dynamiki przesiewacza wibracyjnego opublikowanego w Biuletynie VAT Vol. LVII, Nr 2, 2008, str. 117-132.
14. Rozdział piąty pt. Zastosowanie metody SPH w symulacji procesów przesiewania (str. 80-89) choć interesujący pod względem zastosowanej metody modelowania można potraktować jako ciekawostkę, gdyż symulacje w nim przedstawione nie zostały wykonane dla warunków pracy badanego przesiewacza PR (założono wymuszenie kinematyczne, brak napięcia wstępnego sita itd.). Co prawda w tej symulacji obliczono wartość naprężeń w sicie ok. 400 MPa (str. 89) jednak bez uwzględnienia wpływu naprężeń rozciągających pochodzących od siły naciągu wstępnego sita. Ponadto, nie wiadomo o jakie konkretnie naprężenia chodzi?
15. We wniosku pierwszym na str. 91 jest napisane cyt. *„Dla współczynnika (ω_0/ω_p) - 0,5 uzyskano największą amplitudę drgań oraz stabilną pracę przesiewacza, co zostało potwierdzone wynikami analiz numerycznych"* Pragnę zauważyć, że to nie wyniki symulacji potwierdzają wyniki badań eksperymentalnych lecz odwrotnie.
16. Wniosek drugi na str. 91 został sformułowany w sposób mało precyzyjny, wręcz nie jasny cyt. *„Drgania parametryczne przesiewacza PR można wzbudzić poprzez stosowanie szerokiego zakresu częstotliwości wymuszenia. Wstępny dobór częstotliwości wymuszenia można oszacować jako podwójną wartość częstotliwości drgań własnych sita"* O ile stwierdzenie w pierwszym zdaniu jest trywialne to drugie powinno brzmieć np.: Wstępny dobór częstotliwości wymuszenia <u>w celu uzyskania rezonansu parametrycznego sita</u> można oszacować jako podwójną wartość częstotliwości drgań własnych sita.

4. Uwagi redakcyjne

Praca jest zredagowana dość starannie. Podczas jej czytania można jednak zauważyć kilka pomyłek i niedociągnięć, które jednak nie obniżają wartości treści w niej zawartych. Pozwolę sobie wyszczególnić kilka z nich:

1. W rozdziale 1.2 zatytułowanym Przegląd literatury np. Str. 7-11 opisy prac kolejnych badaczy powinny się rozpoczynać od nowego akapitu lub nowej linii.
2. Str. 9, trzecie zdanie od dołu cyt. *„...do określenia częstości i postaci drgań przesiewacza wykorzystano komercyjne oprogramowanie metody elementów skończonych."* Poprawniej było by .....komercyjne oprogramowanie wykorzystujące metodę elementów skończonych lub ...komercyjne oprogramowanie bazujące na metodzie elementów skończonych.

3. Str. 13. oraz str. 81. Autor w odniesieniu do metody elementów dyskretnych użył ang. skrótu DEM a powinien użyć skrótu MED. Praca jest napisana w języku polskim więc przez analogię nie używamy skrótu FEM lecz MES.
4. Str. 31 jeden wiersz powyżej tabeli 3.1 jest podany moduł Younga dla stali sprężynowej E = 210 MPa a powinno być E = 210 000 MPa lub E = 210 GPa.
5. Na str. 18 częstość drgań własnych sita oznaczono przez ω_2 natomiast częstość wymuszenia jako ω_1. Z kolei od str. 49 częstość drgań własnych sita Autor oznacza jako ω_0 natomiast częstość wymuszenia jako ω_p.

6. Ocena ogólna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza BĄKA pt. „Dobór parametrów pracy przesiewacza wykorzystującego zjawisko rezonansu parametrycznego" ujmuje kompleksowo zagadnienia związanie z procesem przesiewania kopalin przy wykorzystaniu innowacyjnej konstrukcji przesiewacza pracującego w warunkach rezonansu parametrycznego, samodzielnie zaprojektowanego i wykonanego przez Doktoranta w Katedrze Przeróbki Plastycznej Politechniki Rzeszowskiej. W zagadnieniach związanych z projektowaniem oraz analizą drgań parametrycznego układu drgającego zostały wykorzystane systemy CAD (Autodesk Inventor) oraz CAE (Ansys i Abaqus). W obliczeniach wykorzystano aparat matematyczny, w tym metody numeryczne takie jak: metodę elementów skończonych MES oraz bezsiatkową metodę wygładzonej hydrodynamiki cząstek SPH. Zastosowanie w/w narzędzi do projektowania i analizy badanego przesiewacza świadczy o zdobytych przez Doktoranta umiejętnościach w zakresie wykorzystania tych systemów w realizacji badań naukowych z zakresu dynamiki maszyn ze szczególnym uwzględnieniem ruchu drgającego. Do najważniejszych osiągnięć Autora recenzowanej rozprawy należy:

1. Opracowanie konstrukcji i wykonanie laboratoryjnego przesiewacza pracującego w zakresie rezonansu parametrycznego umożliwiającego prowadzanie badań eksperymentalnych procesu przesiewania, z zastosowaniem różnych parametrów jego realizacji.
2. Opracowanie i dobór odpowiedniego oprzyrządowania do pomiaru siły naciągu sita, z zastosowaniem specjalnie zaprojektowanych tulei pomiarowych z mostkiem tensometrycznym. Dobór i konfiguracja odpowiednich czujników przyśpieszenia oraz konfiguracja układu pomiarowego w celu akwizycji danych pomiarowych.
3. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych w celu doboru parametrów pracy przesiewacza z zastosowaniem różnych sił naciągu sita, częstotliwości wymuszenia oraz siły wymuszającej na występowanie rezonansu parametrycznego układu oraz wielkość amplitudy drgań poprzecznych sita. Określenie krytycznej ilości (masy) nadawy tzn. takiej, której przekroczenie skutkuje stłumieniem i zanikiem drgań sita badanego przesiewacza.
4. Oszacowanie zależności pomiędzy siłą naciągu sita przesiewacza, a częstotliwością drgań swobodnych tego sita.
5. Opracowanie modeli numerycznych i wykonanie analiz modalnych w których obliczono 4 pierwsze postaci drgań sita oraz odpowiadające im częstotliwości drgań własnych, bez i z uwzględnieniem masy nadawy.
6. Opracowanie praktycznie przydatnych charakterystyk amplitudowo częstotliwościowych badanego przesiewacza dla różnych sił naciągu wstępnego sita, a także różnych wartości siły wymuszającej oraz określenie zależności pomiędzy siłą wymuszającą, a amplitudą drgań sita dla wybranych częstotliwości wymuszenia.

7. Zaprezentowanie praktycznych możliwości zastosowania bezsiatkowej metody SPH w symulacji procesów przesiewania.

6. Wniosek końcowy

Na podstawie analizy przedstawionej pracy doktorskiej mogę stwierdzić, że mgr inż. Łukasz BĄK wykazał się umiejętnością rozwiązywania postawionych przed nim zadań naukowych. W trakcie realizacji pracy doktorskiej wykazał, że opanował trudne zagadnienia z zakresu prowadzonych badań zarówno eksperymentalnych jak i numerycznych wykazując się przy tym umiejętnością prowadzenia tych badań.

Uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska jest oryginalnym osiągnięciem Doktoranta, odpowiada wymaganiom stawianym w ustawie o tytule naukowym i stopniach naukowych i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, a po jej pomyślnym przebiegu o nadanie Kandydatowi stopnia doktora w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Stanisław Kut