dr hab. inż. Bartłomiej Dyniewicz

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

ul. Pawińskiego 5B

02-106 Warszawa

Warszawa, 28 czerwca 2019

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Bartosza Śniegockiego

"Ocena możliwości tłumienia uderzenia hydraulicznego z wykorzystaniem dynamicznego eliminatora drgań"

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa dotyczy tłumienia fali ciśnienia wywołanej uderzeniem hydraulicznym w przewodach ciśnieniowych. Maszynopis liczy łącznie 145 strony tekstu. Zasadniczy tekst ujęty na 108 stronach, poprzedzony jest streszczeniami i spisem treści, 6 stron to spis literatury, w którym znajduje się 79 pozycji, oraz 31 stron zawierających trzy dodatki. Praca została wykonana na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Uderzenie hydrauliczne jest jednym z ważniejszych problemów nieustalonego przepływu cieczy w przewodach zamkniętych. Zjawisko to wywołane jest gwałtowną zmianą ciśnienia cieczy w układzie np. w wyniku nagłego zatrzymania pompy zasilającej, czy gwałtownego zamknięcia kluczowego zaworu. Uderzenie hydrauliczne jest źródłem istotnych drgań w układzie, które mogą doprowadzić do uszkodzenia konstrukcji lub jej całkowitego zniszczenia. W rozprawie zaproponowano minimalizację skutków uderzenia hydraulicznego za pomocą zaprojektowanego dynamicznego eliminatora drgań. Rozwiązania tego typu z powodzeniem stosuje się w tłumieniu drgań mechanicznych maszyn, pojazdów, czy konstrukcji budowlanych. W celu wyznaczenia parametrów poszukiwanego układu dołączonego przeprowadzono badania teoretyczne, a następnie otrzymane wyniki zweryfikowano eksperymentalne na stanowisku badawczym w laboratorium hydraulicznym Zakładu Budownictwa Wodnego i Hydrauliki Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Rozwiązany przez doktoranta problem częściowo został już przez niego zaprezentowany w trzech artykułach opublikowanych w czasopismach krajowych. Niniejsza rozprawa podzielona jest na 7 rozdziałów oraz 3 załączniki. Rozprawa poprzedzona jest wykazem najważniejszych oznaczeń (2 strony). Cel i zakres pracy oraz sformułowanie tezy przedstawiono w rozdziale pierwszym, na dwóch stronach. Rozdział drugi prezentuje wprowadzenie do prowadzonych badań (30 stron). Opisano zjawisko uderzenia hydraulicznego w przewodzie ciśnieniowym. Omówiono przyczyny występowania zjawiska oraz jego przebieg na przykładzie modelu rurociagu prostego. Następnie omówiono sposoby zapobiegania uderzeniom hydraulicznym. W rozdziale trzecim, na trzydziestu stronach, zaprezentowano strategię redukcji fali ciśnienia wywołanej uderzeniem hydraulicznym z wykorzystaniem dynamicznego eliminatora drgań. Omówiono model fizyczny i obliczeniowy proponowanego rozwiązania. Przeanalizowano wybrane warianty urządzenia z wykorzystaniem modelu liniowego i modeli nieliniowych. Zbadano również zjawisko odbicia fali uderzenia hydraulicznego od ścianki tłoka zamocowanego sprężyście i lepkosprężyście. W rozdziale czwartym, na ośmiu stronach, przedstawiono uwagi dotyczące przyjętego modelu dyskretnego uderzenia hydraulicznego. Weryfikację eksperymentalną przedstawiono na 22 stronach w rozdziale piątym. Opisano stanowisko badawcze oraz sposób realizacji eksperymentu. W rozdziale szóstym, na 4 stronach, przedstawiono porównanie efektywności wybranych urządzeń ochrony przed skutkami uderzenia hydraulicznego. Rozdział ostatni prezentuje wnioski płynące z rozprawy oraz wskazuje kierunki przyszłych prac.

Załącznik 1 zawiera podstawowe pojęcia związane z drganiami układu o jednym stopniu swobody. W załączniku 2 przedstawiono zasadę działania dynamicznego eliminatora drgań w przypadku wymuszenia harmonicznego. Wyniki pomiarów eksperymentalnych oraz analizę FFT zamieszczono w załączniku 3.

2. **Uwagi krytyczne**

Uwagi krytyczne zostały podane poniżej i mają różną skalę ważności.

Błędy edytorskie:

- Prace cytowane są w różny sposób na stronach 20, 21, 33 i 64, niż w pozostałych częściach rozprawy.
- Wykresy na rysunkach 3.11, 3.14, 3.21 i 3.26 są mało czytelne.
- Brak opisu do rysunków 2.1 i 2.2.
- Brak opisu do wzoru 2.17.
- Nazwy kolumn i wierszy w tabelach na stronie 33 i 35 podano w języku angielskim. Czy w takim razie są one dziełem Doktoranta, czy zostały zaczerpnięte z obcych źródeł bez ich podania?
- Brak odwołania do rysunku 3.4.

- Brak rysunku 3.12 i 5.9.
- Błąd w podpisie do rysunku 3.5 i 3.6, w wersji angielskiej (jest "vibrations in phase", powinno być "vibrations out of phase").
- Błędy w odnośnikach do rysunków na stronie 65 (jest 3.19, powinno być 3.20), strona 76 (jest 4.1, powinno być 4.2), strona 87 (jest 5.8, powinno być 5.7), strona 91 (jest 5.9, powinno być 5.10).
- Błędy w odnośnikach do tablicy na stronie 91 (jest 5.4 i 5.5, powinno być 5.3 i 5.4).
- Błędy w odnośnikach do wzorów na stronie 57 (jest A2.6, powinno być Z2.5), strona 103 (jest 5.1 i 5.2, powinno być 6.1 i 6.2), strona 104 (jest 5.1, powinno być 6.1), strona 106 (jest 5.1-5.3, powinno być 6.1-6.3), strona 123 (jest A2.1, powinno być Z2.1), błędne oznaczenie wzoru Z2.2.
- Liczne błędy interpunkcyjne i gramatyczne w tekście na stronach 5, 12, 13, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 34, 35, 36, 38, 43, 44, 47, 52, 55, 56, 57, 58, 61, 64, 67, 69, 79, 80, 81, 83, 86, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 103, 106, 107, 108, 117, 123 i 124.
- Przyimek *dla* poprawnie może być używany z nazwami istot żywych, tymczasem Autor maszynopisu stosuje następujące błędne konstrukcje stylistyczne np. "...rozwiązania dla tłumika...", "...efektywności dla różnych wydatków...", "Obliczenia wykonano dla następujących danych", itp.
- Strona 57 – zwrot "model biliniowy" powinien zostać zastąpiony zwrotem "charakterystyka biliniowa".
- Strona 59 – funkcja *2cv* nie jest funkcją nieliniową.
- Nieczytelne wzory na stronie 60.
- Wzory 3.49 i 3.50 wymagają szerszego komentarza.
- Błędy edytorskie we wzorze 4.3.
- Brak komentarza do rysunków 5.11-5.14.

Autor rozprawy nie wykorzystał w pełni możliwości zautomatyzowania edytora tekstu, przez co numeracja rysunków, tablic oraz wzorów podczas kolejnych przeróbek zawartości maszynopisu wymknęła się z pod kontroli.

Przegląd literatury

Przegląd literatury, według recenzenta nie jest w pełnym stopniu przedstawiony. Doktorant w rozprawie nie przedstawił literatury omawiającej modele ciągłe rur wypełnionych poruszającym się płynem. Jest to dziedzina wiedzy intensywnie rozwijana i tematycznie zbieżna z rozpatrywanym zagadnieniem. Poniżej przedstawiono przykładowe cztery prace rozpatrujące modele ciągłe rurociągów wypełnionych płynem:

[1] R. A. Ibrahim, Overview of mechanics of pipes conveying fluids - part I: Fundamental studies, Journal of Pressure Vessel Technology 132 (2010) 034001-1-32.

[2] O. Doare, Dissipation effect on local and global stability of fluid-conveying pipes, Journal of Sound and Vibration 329 (2010) 72-83.

[3] Y. Sugiyama, Y. Kumagai, T. Kishi, H. Kawagoe, Studies on stability of pipes conveying fluid (the effect of a lumped mass and damping), Bulletin of JSME 29 (1986) 929-934.

[4] M. P. Paidoussis, Dynamics of tubular cantilevers conveying fluid, Journal of Mechanical Engineering Science 12 (1970) 85-103.

Model matematyczny:

- W podrozdziale 3.2.2 "Redukcja układu cieczy oraz elementu masowego w warunkach uderzenia hydraulicznego do układu o dwóch stopniach swobody" znaleziono błędy we wzorach. Pierwsze pochodne we wzorach (3.14) i (3.15) rozwiązań (3.13) są błędne. Z tego względu równania (3.16)-(3.19) są również błędne. Równanie (3.20) nie jest rozwinięciem wyznacznika (3.19). Ponadto (3.21) i (3.22) nie są rozwiązaniami równania (3.20). Konsekwentnie usterki te mogą rzutować na zamieszczone w dalszej części rozprawy wynikach obliczeń i wnioskach. Znalezione błędy sprawiają wrażenie błędów edytorskich, jednak wymagają gruntownych wyjaśnień.
- W pracy zabrakło informacji, jaki ciągły model rury został zredukowany do układu dyskretnego? Na podstawie dalszej lektury manuskryptu, można dojść do wniosku, że mamy do czynienia z klasycznym modelem belki Bernoullego-Eulera. Nie wyjaśniono w rozprawie, dlaczego taki model ciągły został wybrany?

Obliczenia numeryczne

Obliczenia wykonane z wykorzystaniem środowiska Matlab powinny zostać znacznie szerzej opisane. Jakie procedury zostały wykorzystane? Jak te procedury są realizowane w praktyce. Informacje o tym powinny być zawarte w instrukcji obsługi do wykorzystanego programu komputerowego.

3. **Podsumowanie**

Dostrojenie dynamicznego eliminatora drgań w celu tłumienia fali uderzenia hydraulicznego wymaga interdyscyplinarnego podejścia z zakresu mechaniki płynów oraz mechaniki i wytrzymałości materiałów. W wyniku badań teoretycznych określono niezbędne parametry dynamicznego eliminatora drgań. Na tej podstawie urządzenie zostało zaprojektowane, wykonane, a następnie przetestowane eksperymentalnie w laboratorium na dedykowanym stanowisku badawczym. Udowodniono, że zastosowanie dynamicznego eliminatora drgań w układzie powoduje nie tylko redukcję amplitudy wahań ciśnienia uderzenia hydraulicznego, ale także zmianę jej częstotliwości tzn. zmianę prędkości propagacji fali. Wykorzystanie dynamicznego eliminatora drgań do redukcji fali uderzenia hydraulicznego zmniejsza amplitudę drgań rurociągu oraz skraca czas trwania zjawiska. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie dynamicznego eliminatora drgań, nawet o niewielkich rozmiarach, w widoczny sposób wpływa korzystnie na przebieg uderzenia hydraulicznego. W związku z tym dynamiczne eliminatory drgań mogą być stosowane do tłumienia drgań pochodzących od uderzenia hydraulicznego w już istniejących instalacjach rurociągowych.

4. **Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bartosza Śniegockiego prezentuje dobry poziom pod względem merytorycznym. Doktorant zawarł w niej wszystkie szczegóły naukowe niezbędne do przyszłych zastosowań dynamicznego eliminatora drgań w skutecznym, w praktyce inżynierskiej, tłumieniu uderzenia hydraulicznego. Wątpliwości zawarte w recenzji zostały wyjaśnione przez Doktoranta. W opinii recenzenta przedłożona rozprawa doktorska **spełnia wszystkie wymagania** zawarte w ustawie Ustawie z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 r., Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). **Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony**.