

BADANIA CHARAKTERYSTYKI DRGAŃ ZAWORU HOMOGENIZUJĄCEGO

Henryk Komsta

Katedra Inżynierii Procesowej, Spożywczej i Ekotechniki, Politechnika Lubelska

Krzysztof Łukasik

Katedra Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej, Politechnika Lubelska

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wibroakustycznych zaworu homogenizującego homogenizatora wysokociśnieniowego. Zarejestrowane drgania poddano analizie z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera oraz analizie JTFA. Badania miały na celu ocenę możliwości wykorzystania charakterystyk wibracyjnych zaworu homogenizującego do wnioskowania, o jakości pracy homogenizatora wysoko-ciśnieniowego metodami wibroakustycznymi. Ocenę tą odnoszono do bezpośrednich pomiarów drgań grzybka zaworu metodą fotooptyczną.

Słowa kluczowe: metody wibroakustyczne, zawór homogenizujący

Wprowadzenie

Homogenizacja ciśnieniowa zaliczana jest do metod mechanicznej obróbki ciekłych niejednorodnych układów wielofazowych pozwalających m.in. na zwiększenie stabilności struktury obrabianego układu. Uzyskuje się to w wyniku procesu jednoczesnego rozdrobnienia i mieszania cząstek fazy rozproszonej, podczas przepływu ciekłego układu fazowo niejednorodnego przez wąską szczelinę utworzoną pomiędzy gniazdem i grzybkiem zaworu homogenizującego.

W czasie pracy zaworu homogenizującego obserwuje się występowanie drgań grzybka zaworu spowodowanych wieloma czynnikami, wśród których wyróżnić można: pulsację przetłaczanej cieczy; drgania własne zespołu sprężyna dociskowa-grzybek i niedokładności wykonania pary grzybek-gniazdo zaworu homogenizującego [Komsta 2000]. Należy także wspomnieć o drganiach będących efektem kawitacji [Kiildsen 2001]. Kawitacja występująca podczas przepływu ciekłego układu niejednorodnego przez wąską szczelinę jest jednym z czynników procesu rozdrabniania (rozrywania) cząstek fazy rozproszonej układu. Określenie związków pomiędzy efektem homogenizacji ciśnieniowej a drganiami zaworu homogenizującego jest jednym z głównych kryteriów oceny, jakości pracy homogenizatora ciśnieniowego [Chemec, Łukasik, Nekoż 2004]. Poszukuje się efektywnych metod pomiaru tych zależności. Jedną z nich może być metoda fotooptyczna, pozwalająca na bezpośredni pomiar np. przebiegu zmian amplitudy drgań grzybka zaworu homogenizującego. Jednakże zastosowanie tej metody związane jest z koniecznością ingerencji w strukturę badanego urządzenia [Komsta, Opielak 2001].

Zastosowanie metod wibroakustycznych pozwala na bezinwazyjne badania homogenizatora ciśnieniowego. Jak podano poprzednio przepływowi czynnika ciekłego przez zawór głowicy homogenizującej towarzyszą różnorodne drgania, które mogą być rejestrowane jako szумы dźwiękowe.

Procesy wibroakustyczne stanowią ogół zjawisk dynamicznych, towarzyszących pracy urządzeń i maszyn technologicznych. Przebiegają one w szerokim zakresie częstotliwości, od bardzo niskich do bardzo wysokich. Szczególne znaczenie ma aspekt informacyjny procesów wibracyjnych w diagnostyce maszyn. Dzięki informacji zawartej w widmie drgań możemy wnioskować o stanie dynamicznym i jakości maszyny, o jej stanie technicznym w czasie eksploatacji, jak również o warunkach przebiegu procesu technologicznego [Kurowski 1997; Łukasik 2002; Norton 1989; Wójcik 1997; Sankowski 2002].

Szczególny charakter mają wymuszenia pochodzące od pulsacji ciśnienia czynnika roboczego np. cieczy w przestrzeni roboczej maszyny lub instalacji przemysłowej a w przypadku homogenizatorów ciśnieniowych w homogenizowanej cieczy w gnieździe zaworu homogenizującego. Widmo generowanych drgań ma charakter szerokopasmowy i niejednokrotnie jest wynikiem zaniku pęcherzy cieczowo-parowych lub cieczowo-gazowych. Drgania towarzyszące kawitacji zależą od wielu czynników konstrukcyjno-technologicznych. Ich analiza wymaga rozpoznania specyfiki obrazu akustycznego obiektu zdatnego, oraz dróg jego ewolucji w wyniku procesu zużycia elementów homogenizatora [Łukasik 2003].

Cel badań

Przedstawienie możliwości oceny jakości pracy homogenizatora na podstawie pomiarów i oceny charakterystyk drgań jego zaworu homogenizującego z wykorzystaniem metod wibroakustycznych jako środka widma drgań w zakresie akustycznym, oraz ich zmian w zależności od parametrów pracy homogenizatora ciśnieniowego i jego stanu technicznego.

Metodyka badań

Obiektem badań był homogenizator wysokociśnieniowy typ CHO-50 (rys. 1) produkcji polskiej o wydajności nominalnej $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ i ciśnieniu homogenizacji 20 MPa, wyposażony w fabryczny nowy zawór stożkowy. Pomiary wykonano podczas homogenizacji soku z marchwi.

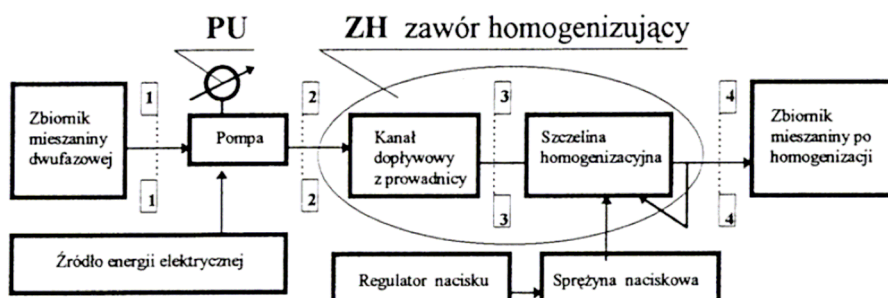
Model badanego homogenizatora CHO-50 przedstawiono na rysunku 2. Badany model składa się z dwóch układów. Wysokociśnieniowej pompy tłokowej PU oraz głowicy homogenizującej, w której można wyróżnić: zawór homogenizujący ZH i układ sterujący (regulator nacisku – w badanym homogenizatorze stosowano regulator mechaniczny z talerzową sprężyną naciskową).

Podstawowymi elementami wibroakustycznego układu pomiarowego był: akcelerometr (przetwornik przyspieszeń z układem dopasowującym), oraz rejestrator. Do rejestracji danych zastosowano system komputerowy z kartą pomiarową DAQ (NI6023E) z oprogramowaniem firmy National Instruments. Dodatkowo rejestrowano sygnał analogowy za

pomocą magnetofonu NAGRA3 przy prędkości przesuwu taśmy $10'' \text{ s}^{-1}$ (rys. 3). Stosowano okres próbkowania $T_0 \approx 2,08 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, czas pobrania sygnału $T = 0,66 \text{ s}$ (dla całkowitej liczby próbek $N=32768$).

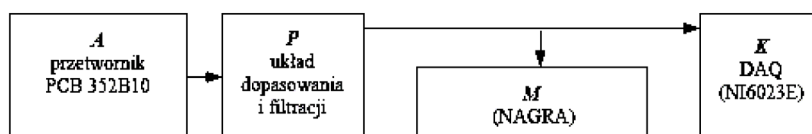


Rys. 1. Fotografia badanego homogenizatora ciśnieniowego CHO-50
 Fig. 1. Photograph of the examined CHO-50 pressure homogeniser



Rys. 2. Schemat homogenizatora ciśnieniowego: PU – pompa, ZH – zawór homogenizujący [Łukasik 2002]

Fig. 2. Diagram of pressure homogeniser: PU – pump, ZH – homogenisation valve [Łukasik 2002]



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego [Łukasik 2002]

Fig. 3. Diagram of measuring system [Łukasik 2002]

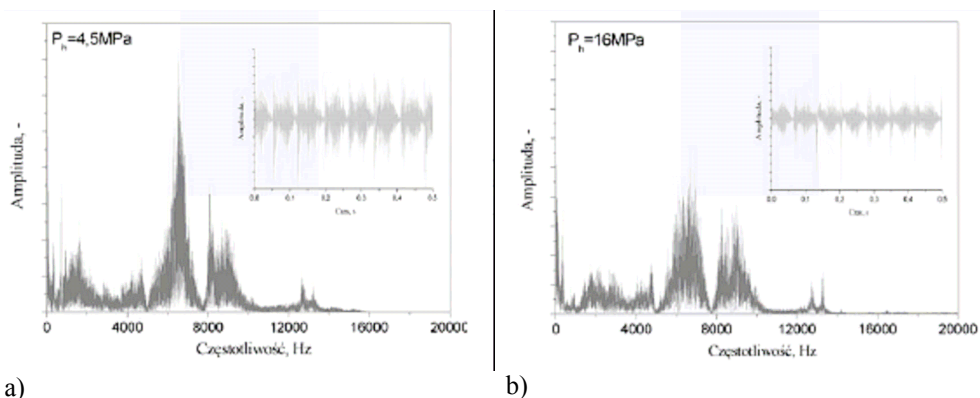
Zarejestrowane przebiegi w układzie amplitudowo-czasowym poddano obróbce z zastosowaniem szybkiej transformaty FFT (*Fast Fourier Transformation*) oraz stosując analizę JTFA (*Joint Time-Frequency Analysis*) [Cempel 1989, Cohen 1989, Qian 1996]. Drgania generowane podczas pracy homogenizatora ciśnieniowego w dużym stopniu są drganiami z określonymi i ustalonymi w czasie przedziałami zmienności ich intensywności. Jednakże zmienność warunków przepływowych wywołanych drganiami grzybka zaworu, pulsacjami ciśnienia prowadzi niejednokrotnie do generowania dodatkowych ciągów krótkotrwałych drgań, które w wielu przypadkach mogą być związane ze zmianą ich częstotliwości. Istotny jest w tych przypadkach moment ich powstania jak i charakterystyka dalszej ewolucji. Szczególną przydatnością w badaniu takich przypadków charakteryzują się spektrogramy wyznaczone metodami JTFA.

Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów wibroakustycznych pracy badanego homogenizatora przedstawiono na rysunku 4. W górnym rogu każdego wykresu przedstawiono zapis sygnału nieprzetworzonego. Jak wynika z zapisu sygnału nieprzetworzonego można zaobserwować periodyczność drgań z okresem $1/3\tau=0,068\text{s}$ odpowiadającym okresowi pulsacji ciśnienia homogenizowanego czynnika spowodowanego zastosowaniem pompy trój numnikowej o prędkości obrotowej $\omega\approx 31\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

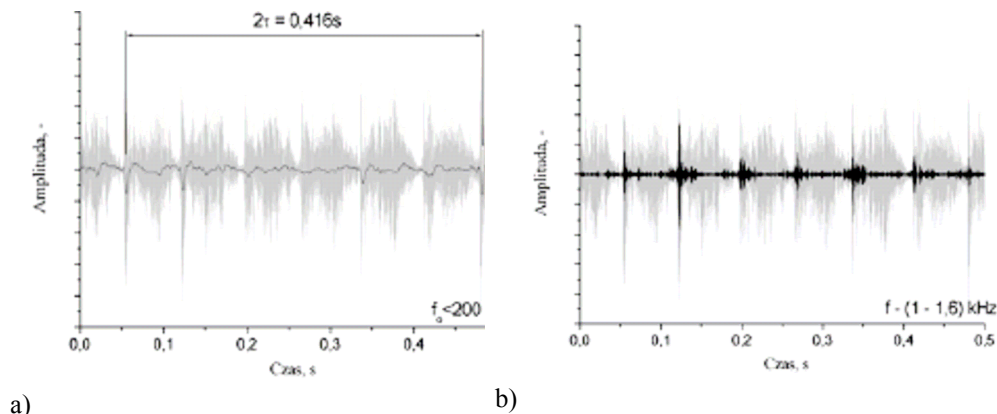
Zarejestrowany sygnał poddano przetworzeniu za pomocą szybkiej transformaty Fouriera FFT (rys. 4). Przedstawione na rysunku 4 zmiany widma częstotliwościowego w zależności od ciśnienia homogenizacji nie mogą być podstawą do jednoznacznej interpretacji zmian zachodzących w zaworze. Wyniki analizy sygnału w układzie czas-amplituda dla ciśnienia homogenizacji $P_h=4,5\text{ MPa}$ przedstawione na rysunku 5 ilustrują:

- pulsację ciśnienia homogenizacji (rys. 5a)
- drgania grzybka zaworu homogenizującego (rys. 5b)



Rys. 4. Wibroakustyczne widmo Fouriera pracy badanego homogenizatora ciśnieniowego: a – ciśnienie homogenizacji $P_h=4,5\text{ MPa}$; b – ciśnienie homogenizacji $P_h=16\text{ MPa}$

Fig. 4. Vibroacoustic Fourier spectrum of the examined pressure homogeniser operation: a – homogenisation pressure $P_h=4,5\text{ MPa}$; b – homogenisation pressure $P_h=16\text{ MPa}$

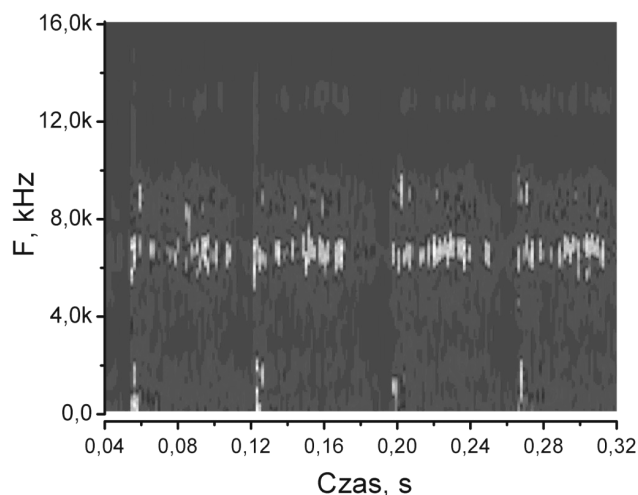


Rys. 5. Porównanie składowych widma Fouriera na tle sygnału oryginalnego dla $P_h=4,5$ MPa
 Fig. 5. Fourier spectrum components compared to the original signal for $P_h=4.5$ MPa

Sygnały akustyczne zarejestrowane na osi głównej głowicy homogenizującej przedstawiono na rysunku 5 kolorem szarym, natomiast kolorem czarnym (linia na rysunku 5a i obszar zaciemniony na rys. 5b) to sygnał poddany filtracji i przedstawiający odpowiednio: pulsację ciśnienia homogenizowanego układu (rys. 5a) i drganie grzybka zaworu homogenizującego (rys. 5b) w zakresie częstotliwości odpowiadających częstości drgań własnych zespołu sprężyna-grzybki. Analogiczne wyniki dla podanych zakresów drgań uzyskano podczas bezpośrednich pomiarów metodą fotoptyczną.

Zawory homogenizujące ze sterowaniem mechanicznym charakteryzują się cyklicznością pracy. Można zaobserwować widoczne momenty niemal całkowitego zaniku drgań, wynikające z prawie całkowitego zamknięcia przepływu. Po tym chwilowym ograniczeniu przepływu występuje faza gwałtownego otwarcia zaworu, której towarzyszą drgania grzybka pobudzonego udarem hydraulicznym, zależne od chwilowej zmiany ciśnienia dostarczanego przez pompę, oraz stanu układu jego regulacji. Wahania wysokości szczeliny zaworu wywołane drganiami prowadzą do zmiany natężenia przepływu cieczy i w konsekwencji intensywność szumu powstającego przy uderzaniu płynu o ścianki kanału odpływowego.

Analiza Fouriera nie zawsze pozwala na uzyskanie pełnego obrazu zjawisk wibracyjnych. W celu określenia lokalnych zmian częstotliwości drgań w funkcji czasu, a wywołanych krótkotrwałą zmianą charakterystyk (zmianą położenia) elementów konstrukcyjnych korzystnie jest przeprowadzić analizę JTFA [Kielsen M 2001, Norton 1989]. Na rysunku 6 przedstawiono uzyskany przy pomocy analizy JTFA spektrogram, na którym intensywność drgań definiowana jest odpowiednim kolorem w zależności od amplitudy drgań.



Rys. 6. Spektrogram JTFA
Fig. 6. The JTFA spectrogram

Wnioski

Przedstawione wyniki wstępnych badań wibroakustycznych homogenizatora ciśnieniowego pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. Zastosowanie metod wibroakustycznych jest korzystne, ponieważ nie powoduje konieczności demontażu badanego urządzenia i charakteryzuje się łatwością przeprowadzenia pomiarów. Wymaga jednak większej staranności podczas analizy zebranych informacji i ich interpretacji niż podczas pomiarów bezpośrednich metodą fotooptyczną.
2. Metody wibroakustyczne pozwalają na prognozowanie miejsc zużycia i ocenę zmian stanu elementów wywołanych eksploatacją urządzenia (zużyciem jego elementów). Powiązanie obrazów wibroakustycznych ze stanem technicznym urządzenia wymaga jednak zgromadzenia znacznej ilości obrazów wibroakustycznych dla znanych przypadków charakterystycznych. Porównanie ich z obrazem badanego urządzenia pozwala na określenie miejsca i w pewnym stopniu intensywności zaistniałych zmian. Szczególnie przydatne są spektrogramy JTFA dające czasoprzestrzenny obraz zjawisk, co w powiązaniu ze znaną konstrukcją urządzenia (fazowość pracy, umiejscowienie podzespołów) i warunkami jego pracy pozwala na przyspieszone wnioskowanie.
3. Metody wibroakustyczne pozwalają na lokalizację elementu, lub obszaru urządzenia w którym generowane są drgania w określonym zakresie częstotliwości. W przypadku homogenizatora ciśnieniowego rejestruje się szereg widm odpowiadających stanowi zdadności, stanom zużycia, lub uszkodzenia. Przykładem może być przedstawione na rys. 6. niedomaganie jednego z zaworów układu pompowego widoczne w postaci wydłużenia czasu drgań o niskiej częstotliwości (pole niebieskiego koloru odpowiadające pierwszemu i czwartemu impulsowi ciśnienia - czas 0,05 i 0,27 s).

4. Wadą metod wibroakustycznych jest rejestrowanie obrazu akustycznego całego urządzenia. Powoduje to konieczność wytypowania odpowiedniego miejsca (gdzie sygnał akustyczny zawiera najwięcej informacji o badanym procesie) do zamocowania przetwornika pomiarowego przed właściwą rejestracją. Możliwe jest w tym przypadku usprawnienie procesu badań i zastosowanie analizy fazowej drgań do lokalizacji źródła interesującego sygnału. Wymaga to jednak złożonej i kosztownej aparatury.

Bibliografia

- Cempel Cz.** 1989. *Wibroakustyka stosowana*. PWN. Warszawa. s. 278.
- Cohen L.** 1989. Time-frequency distribution – a review. *Proc. IEEE* 77. s. 941-981.
- Chernec M., Lukasiak K., Nekoz A.** 2004. Povyshenie iznososojkosti i dolgovechnosti elementov gomogenizatorov davlenija. *Drogobych. KOLO*. ISBN 966-7996-63-7.
- Kjeldsen M., Arndt R.E.A.** 2001. Joint Time Frequency Analysis Techniques: A study of Transitional Dynamics in Sheet/Cloud Cavitation. In: *CAV 2001.sessionA9.001*. Fourth International Symposium on Cavitation. June 20-23. California Institute of Technology, Pasadena, CA. USA. pp. 124-135.
- Komsta H.** 2000. Analiza procesów homogenizacji ciśnieniowej emulsji i zawiesin w przemyśle spożywczym. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie. Lublin. s. 108.
- Komsta H., Opielak M.** 2001. Badania pulsacji ciśnienia homogenizacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* v.3/4. s. 42-45.
- Kurowski W.** 1997. Dyskretne widmo Fouriera w diagnostyce wibroakustycznej. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej. *Rozprawy Naukowe* nr 50. s. 186.
- Lukasiak K.** 2002. Możliwości analizy wibroakustycznej i badań diagnostycznych systemu przepływowego zaworów homogenizujących. *Diagnostyka*. Vol 26. s. 111-115.
- Lukasiak K.** 2003. Możliwości wykorzystania badań wibroakustycznych w ocenie pracy zaworu homogenizującego. *Hydraulika i Pneumatyka* 2. s.18-20.
- Norton M. P., Karczub D.** 2003. *Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers*. Second edition. Cambridge University Press. ISBN: 0521 49561 X.
- Wójcik W.** (red.) 1997. *Światłowody – analiza i zastosowania*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe. Lublin. ISBN 83-85491-91-0.
- Qian S.; Chen D.** 1996. *Joint Time-Frequency Analysis – Methods and Applications*. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. ISBN-10: 0132543842. pp. 308.
- Sankowska A., Sikora A., Grabiec P., Gotszalk T.** 2003. Światłowodowy mikrosystemowy czujnik drgań do diagnostyki maszyn i urządzeń. *Materiały IX konferencji „Światłowody i ich zastosowania”*. TAL 2003.T. 1. Wydawnictwo UMCS. Lublin. s. 436.

THE RESEARCH ON VIBRATION CHARACTERISTICS FOR HOMOGENISATION VALVE

Abstract. The paper presents the results of vibroacoustic tests carried out for homogenisation valve of a high-pressure homogeniser. Registered vibrations were put to analysis using fast Fourier transform and to the JTFA analysis. The purpose of the research was to assess the potential for using vibration characteristics of homogenisation valve to determine quality of high-pressure homogeniser work on the basis of vibroacoustic methods. The assessment was referred to direct measurements of valve head vibrations using the photo-optic method.

Key words: vibroacoustic methods, homogenisation valve

Adres do korespondencji:

Henryk Komsta; e-mail: h.komsta@pollub.pl
Katedra Inżynierii Procesowej, Spożywczej i Ekotechniki
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin