

IDENTYFIKACJA WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA POTRZEBY DIAGNOSTYKI PRZEKŁADNI PLANETARNEJ DO NAPĘDU KOŁA CZERPAKOWEGO

Walter BARTELMUS, Radosław ZIMROZ

Badawcze Laboratorium Diagnostyki i Wibroakustyki
Pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław {walter.bartelmus,radoslaw.zimroz}@pwr.wroc.pl

Streszczenie

Niniejsza praca stanowi kontynuację rozpoznania problemu diagnostycznego i określenia właściwości sygnałów diagnostycznych generowanych przez przekładnię planetarną będącą elementem układu napędowego koła czerpakowego w koparce kołowej pracującej w polskim przemyśle wydobywczym. Obiekt diagnozowania wyposażony jest w nowoczesny, skomplikowany, wielokanałowy system diagnostyczny pracujący w trybie on-line z możliwością sterowania i diagnozowania przez Internet. Z diagnostycznego punktu widzenia system nie spełnia oczekiwań użytkowników. Jest to związane z jego złożonością (wymaga wykwalifikowanych służb do zarządzania systemem, interpretacji wyników itp.) oraz wyjątkowo trudnymi warunkami eksploatacyjnymi, w jakich pracuje koparka. Zauważono, że w czasie pracy systemu diagnostycznego dochodzi w pewnych przypadkach do generowania tzw. fałszywych alarmów – czyli zostaje wygenerowana informacja o przekroczeniu progów alarmowych świadcząca o wystąpieniu uszkodzenia – mimo, że obiekt jest nadal w dobrym stanie technicznym. Wydaje się uzasadnione powiązanie faktu generowania fałszywych alarmów z warunkami eksploatacyjnymi, w jakich pracuje maszyna (a ściślej warunkami urabiania organu urabiającego). Z punktu widzenia diagnostyki jest to analiza wpływu czynnika eksploatacyjnego, który wpływa na postać sygnału diagnostycznego. W pracy wykazano zmienny charakter obciążenia przekładni (zmiennosc zgodna z teoretycznym przebiegiem obciążenia koła czerpakowego) i wpływ tej zmienności na postać sygnału diagnostycznego (zmiennosc amplitudy i struktury częstotliwościowej widma).

Słowa kluczowe: diagnozowanie, zmienne obciążenia, przekładnia planetarna.

IDENTIFICATION OF OPERATION FACTORS FOR PLANETARY GEARBOX DIAGNOSTICS USED IN BUCKET WHEEL EXCAVATOR

Summary

The paper gives continuation of introductory problem recognition of vibration signal properties generated by planetary gearbox that is the part of the driving system of a bucket wheel excavator used in the polish extractive industry. The object is diagnosed is by a modern elaborate multi-channel diagnostic system that work on-line with possibility to control and diagnosing by an Internet. From diagnostic point of view the does not fulfill its user expectations. It is related with system complexity and user qualification to manage it, and result interpretation, and hard digging condition of a bucket wheel excavator. It have been noticed at some condition the diagnostic system generates false alarms – its generated the information about limit exceeding that should give evidence on driving system faults but actually the planetary gearbox is in good condition. It seems to be that false alarms are related to exploration condition of a bucket wheel. From diagnostic point of view it is a diagnostic factor which is connected with outer load variability which have influence the diagnostic signal and the diagnostic signal analysis way. In the paper has shown that the identified load variability is compatible with theoretical one and it has influence on diagnostic signal (its amplitudes and a spectrum frequency composition).

Keywords: condition monitoring, varying load, planetary gearbox.

1. WPROWADZENIE

Niniejsza praca stanowi kontynuację (por. z pracami [1] oraz [2] i [3]) wstępnego rozpoznania problemu diagnostycznego i określenia właściwości sygnałów diagnostycznych generowanych przez przekładnię planetarną będącą elementem układu napędowego koła czerpakowego w koparce kołowej

pracującej w polskim przemyśle wydobywczym. Obiekt diagnozowania wyposażony jest w nowoczesny, wielokanałowy system diagnostyczny pracujący w trybie on-line, jednakże złożoność problemu (wielostopniowa przekładnia ze stopniem planetarnym pracująca w zmiennych warunkach obciążenia) powoduje generowanie tzw. fałszywych alarmów.

Wydaje się uzasadnione powiązanie tego faktu z warunkami eksploatacyjnymi, w jakich pracuje maszyna (a ściślej z warunkami urabiania organu urabiającego). Jak wykazano w [5] w celu opracowania odpowiedniej metody diagnostycznej wymagana jest analiza wpływu różnych czynników mających wpływ na sygnał drganiowy. Istotnymi czynnikami wpływającymi na sygnał drganiowy są czynniki eksploatacyjne określone przez zmiany obciążenia zewnętrznego przekładni i związane nimi zmiany prędkości obrotowych. Złożoność czynników [5, 6] wpływających na zmienność obciążenia wymaga identyfikacji postaci zmian obciążenia. Przedmiotem tej pracy jest identyfikacja tych zmian, które wynikają z warunków eksploatacji. Warunki eksploatacji określone są rodzajem eksploatowanego nadkładu lub węgla. Znając zmienność obciążenia i jego wpływ na sygnał drganiowy można dobrać odpowiednie sposoby przetwarzania sygnału drganiowego w celu opracowania diagnostycznej metody oceny stanu przekładni napędu koła czerpakowego z przekładnią planetarną.

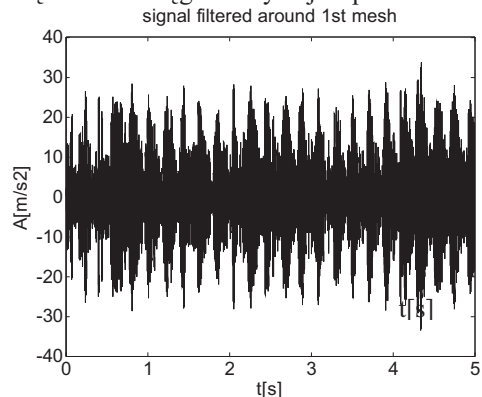
Już w 1982 Randall [4] podał, że zmiany obciążenia mają wpływ na postać sygnału drganiowego. Dodatkowo pokazał, że okresowo zmienne obciążenie powoduje powstawanie modulacji amplitudowej (AM) i w konsekwencji wstęg bocznych wokół częstotliwości zazębienia. Jest to efekt czynnika konstrukcyjnego wynikający ze zmieniającego się ugięcia i odkształcenia zębów. Autorzy bazując na tej informacji chcą wykorzystać metody przetwarzania sygnałów do oceny warunków eksploatacyjnych. Teoretyczna postać przebiegu obciążenia jest znana między innymi z prac Bartelmusa [5] czy Szepietowskiego [6]. Przez zastosowanie technik przetwarzania sygnałów autorzy zamierzają wykazać, na ile jest zgodny rzeczywisty przebieg zmienności obciążenia z przyjmowanymi przebiegami teoretycznymi lub uzyskanymi bezpośrednimi metodami pomiaru. Należy również wykazać czy zmienność obciążenia znacząco wpływają na postać sygnału i nie można tego wpływu pominąć, aby dobrać prawidłową metodę diagnostyki stanu przekładni zębatej.

2. WSTĘPNA ANALIZA SYGNAŁÓW

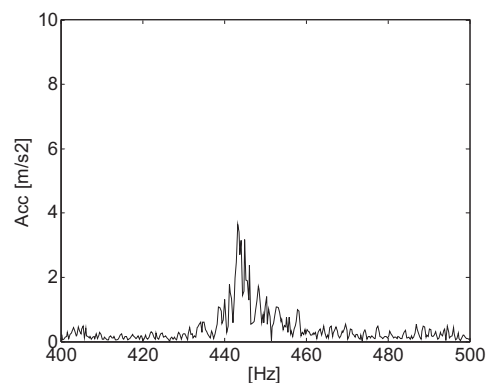
Autorzy przeanalizowali dostępne techniki przetwarzania sygnałów dla tak definiowanego problemu i wydaje się, że należy zastosować metody bazujące na obwiedni – metodzie analizy zalecanej dla sygnałów niestacjonarnych [7, 15, 19, 20, 21, 23] oraz metody czasowo-częstotliwościowe [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Uzasadnienie i szerszy przegląd literatury można znaleźć w [33].

Ze względu na zmienne obciążenie a co za tym idzie zmienną prędkość obrotową na wejściu układu analiza struktury częstotliwościowej za pomocą widma sygnału jest niemożliwa. Na rys. 1 pokazano sygnał drganiowy po filtracji pasmowo przepustowej

wokół częstotliwości zazębienia – widoczna jest głęboka modulacja amplitudowa sygnału. Odpowiednikiem takiego stanu w dziedzinie częstotliwości powinny być wstęgi boczne wokół częstotliwości zazębienia. Jak pokazano na rys. 2 identyfikacja składowych o częstotliwościach: zazębienia i wstęg bocznych jest prawie niemożliwa.

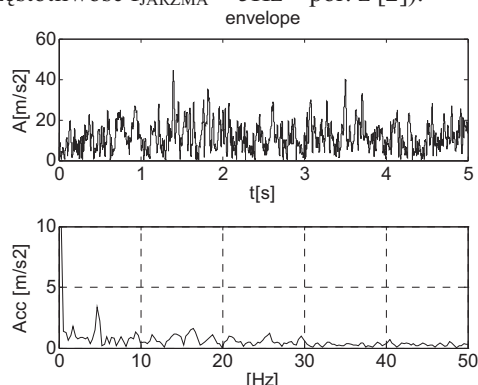


Rys. 1. Sygnał odfiltrowany ($f_{\text{ZAZĘBIENIA}} \pm \Delta f$)



Rys. 2. Fragment widma w analizowanym zakresie częstotliwości dla sygnału z rys. 1

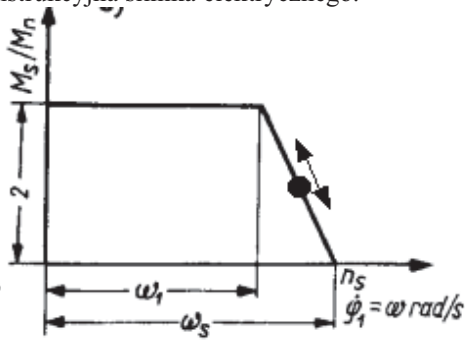
Demodulacja odfiltrowanego sygnału precyzyjnie identyfikuje przyczynę modulacji, którą w tym przypadku jest nieprawidłowa praca jarzma (częstotliwość $f_{\text{JARZMA}} \sim 5\text{Hz}$ – por. z [2]).



Rys. 3. Obwiednia i widmo obwiedni dla sygnału odfiltrowanego

Tak jak przewidywano kłopoty z identyfikacją prążków w widmie są spowodowane zmianami (fluktuacją) prędkości obrotowej na wejściu układu napędowego, czyli zmiana punktu pracy silnika

wywołaną zmianami obciążenia - jest to cecha konstrukcyjna silnika elektrycznego.

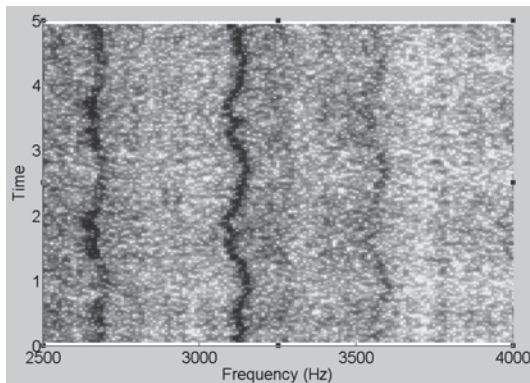


Rys. 4. Charakterystyka silnika

W celu potwierdzenia tej hipotezy zastosowano czasowo-częstotliwościowe metody analizy sygnałów. Aby uwzględnić wpływ obciążenia należy podać analizie przynajmniej 1.5 okresu związanego z cyklem obciążenia. Cykl obciążenia wyznaczono na podstawie parametrów ruchowych koła czerpakowego oraz liczby czerpaków zamocowanych na kole i trwa on $T_{CZERPAKA} = 1,8[s]$ [3]. Do analizy przyjęto czas trwania sygnału $T_{max} = 5[s] \approx 2,67 T_{CZERPAKA}$.

Na rysunku 5 pokazano mapę czasowo-częstotliwościową. Pionowe linie oznaczają harmoniczne zaszębiania. Łatwo zauważyć fluktuację chwilowej prędkości wokół częstotliwości nominalnej (czarne przerywane linie pionowe).

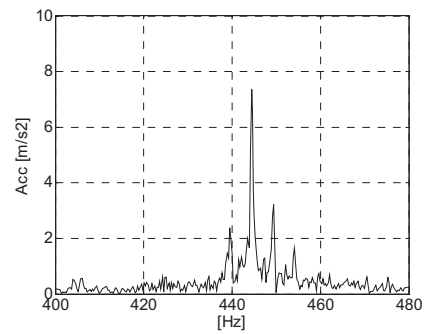
Dla porównania zestawiono widma sygnału dla dwóch przypadków: braku zmienności obciążenia i zmiennego obciążenia (rys. 6).



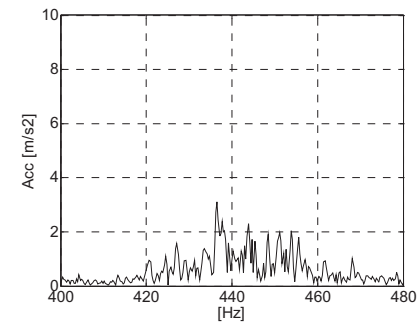
Rys. 5. Mapa czasowo-częstotliwościowa dla sygnału z przekładni 1 - fragment obejmujący harmoniczne 6-8

Praca przekładni w zmiennych warunkach obciążenia jest zagadnieniem niezwykle ważnym i w ostatnich latach poświęcono jej kilka ważnych prac. Tematyką tą zajmowali się między innymi autorzy prac [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

a)



b)



Rys. 6. Porównanie widm dla przekładni 1 a) fluktuacja prędkości i brak możliwości detekcji składowych b) brak fluktuacji – widoczne składowe częstotliwość zaszębiania i wstęgi boczne

Generalnie większość prac skupia się na procedurach eliminowania wpływu zmian obciążenia na sygnał drganiowy poprzez:

- demodulację i normalizację sygnału drganiowego [24,25]
- zaawansowane metody przetwarzania sygnału (czas-częst. [28][30], czas-quefreny [29], bispectrum [22])
- zaawansowane metody przetwarzanie cech – skalowanie [31], również z wykorzystaniem metod AI [32]

Niektórzy autorzy jako rozwiązanie problemu przetwarzania sygnału rejestrowanego w warunkach zmiennego obciążenia proponują przepróbkowanie sygnału do dziedziny kąta [34]. Jak wykazano w pracy [33] zmienne obciążenie powoduje zarówno efekt rozmywania widma (co można wyeliminować stosując proponowaną technikę) jak również wpływa na amplitudy prążków (różne ugięcia zębów dla różnych wartości obciążenia oraz ewentualny wpływ obudowy). W ramach tej pracy ograniczono się do badania wpływu zmienności obciążenia na zmianę amplitudy sygnału drganiowego. Wydaje się, że pełna analiza diagnostyczna powinna uwzględniać zarówno efekty modulacji amplitudowej jak i częstotliwościowej. Prace w tym kierunku są obecnie prowadzone przez autorów.

3. PROCEDURA EKSTRAKЦИИ INFORMACJI O OBCIĄŻENIU NA BAZIE ANALIZY SYGNAŁU DRGANIOWEGO

Do pozyskania informacji o obciążeniu zdecydowano wykorzystać metodę demodulacji amplitudowej. Analizy przeprowadzono wg następującej procedury:

FOR $i=1$ to 10

filtruj wokół i -tej harmonicznej

wyznacz obwiednię

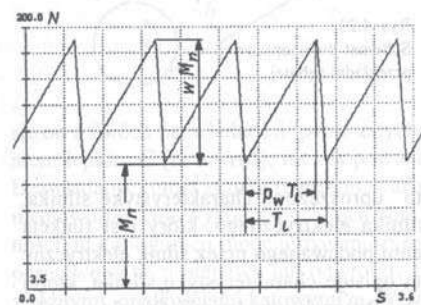
odseparuj modulacje pochodzące od obciążenia

END

Zwykle w przekładniach zębatych analizuje się do 5 składowych harmonicznych. W badanych sygnałach stwierdzono występowanie większej liczby harmonicznych (np. 8) o dużych amplitudach (zwłaszcza harmoniczne 6-8), więc badania przeprowadzono dla większej liczby składowych.

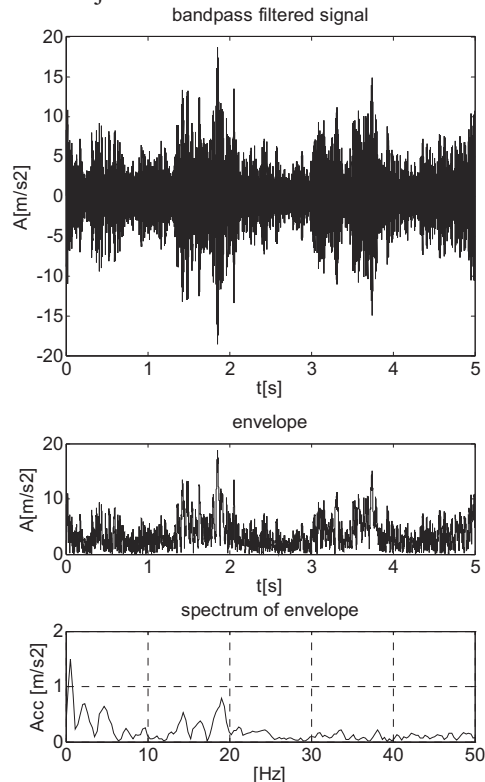
Z badań prowadzonych przez Szepietowskiego [6] wynika, że zmiany obciążenia zależą od wielu czynników. Przebieg zmienności wynika z technologii pracy koła czerpakowego (prędkości obrotowej koła, ilości czerpaków, rodzaju gruntu, występowania wtrąceń o znacznie różniących się parametrach np. kamień). Na podstawie analizy zmian obciążenia (rys. 8-10) zaproponowano model zmian obciążenia pokazany na rys. 7. Przyjęty model [5] nieco odbiega od przebiegów obciążeń rejestrowanych na rzeczywistych obiektach, ale jest łatwy do oprogramowania i do analizy jakościowej opartej na sygnałach syntetycznych jest wystarczający.

Okazało się, że oprócz przewidywanych modulacji związanych z obciążeniem w wielu sygnałach dla trzech różnych przekładni wykryto także modulację pochodzącą od jarzma (wspomnianą już wcześniej w pracy). Cechy konstrukcyjne jarzma należy traktować jako podstawowe, z których wynika prawidłowość pracy jarzma. W opracowywanej metodzie diagnostycznej należy uwzględnić sposób oceny jego pracy.

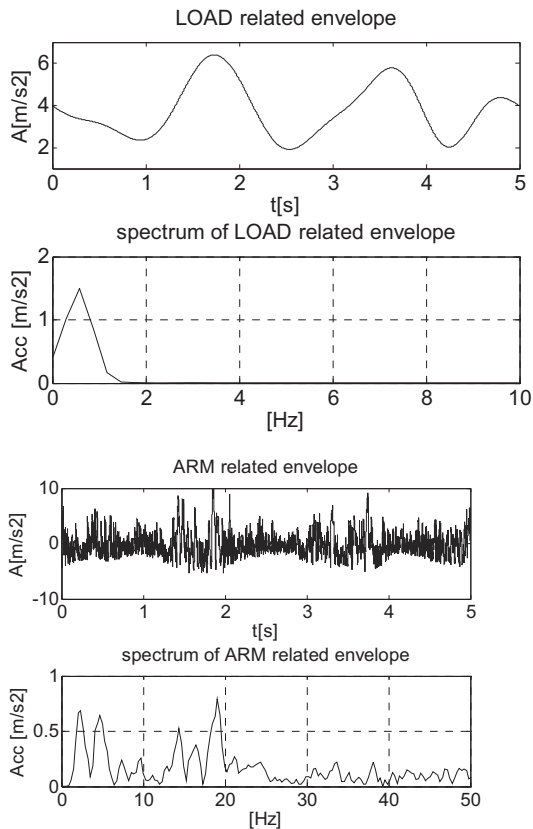


Rys. 7. Widok koła czerpakowego i teoretyczny kształt zmian obciążenia

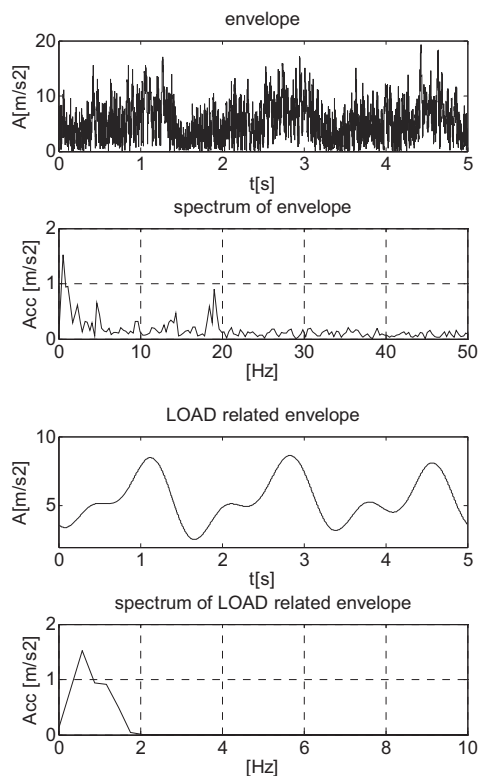
W celu normalizacji sygnału drganiowego, która jest wymagana do dalszego przetwarzania i diagnozowania [24] należy odseparować tę część sygnału modulującego, która odpowiada za zmiany obciążenia i tylko taki sygnał może być użyty do normalizacji.



Rys. 8. Odfiltrowany przebieg czasowy (rys. a) obwiednia (rys. b) i widmo obwiedni (rys. c)



Rys. 9. Odseparowane modulacje pochodzące od zmian obciążenia (a) obwiednia, b) widmo obwiedni) i nieprawidłowej pracy jarzma (c) obwiednia, d) widmo obwiedni)

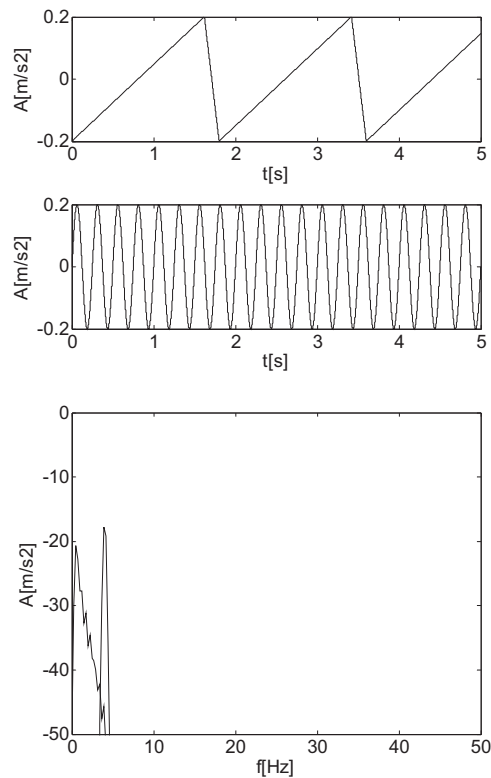


Rys. 10. Obwiednia i widmo obwiedni przed separacją (rys. a, b) oraz wyekstrahowana część obwiedni związana z obciążeniem (rys. c, d)

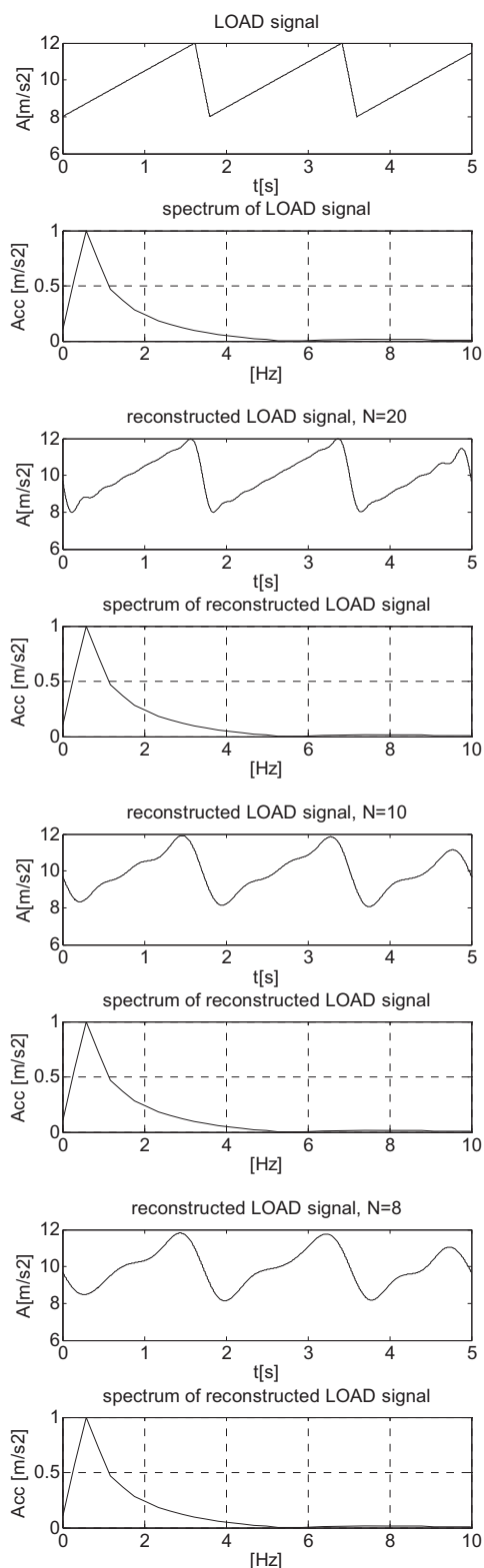
4. EKSTRAKCYJA INFORMACJI Z SYGNAŁU OBWIEDNI

Ekstrakcja informacji z sygnału obwiedni (separacja źródeł modulacji) polega na zastosowaniu filtracji dolno przepustowej (do odseparowania sygnału związanego z obciążeniem) bądź górno przepustowej (do odseparowania sygnału związanego z nieprawidłową pracą jarzma) do sygnału obwiedni uzyskanej z demodulacji. Ze względu na niewielkie różnice w częstotliwości zmian obciążenia i pracy jarzma oraz charakter przebiegu zmian obciążenia (sygnał niesinusoidalny obejmuje pasmo o pewnej szerokości zobacz rys. 11b) podczas separacji nie jest możliwe wyekstrahowanie pełnej informacji dotyczącej obciążenia. Na rysunkach 12a-d przedstawiono wpływ liczby próbek użytych do filtracji z wykorzystaniem zerowania FFT. Czym większa liczba próbek w FFT użyta jest w procesie rekonstrukcji sygnału – tym lepiej rekonstruowany jest sygnał będący źródłem modulacji AM pochodzącej od zmian obciążenia.

Zdaniem autorów między innymi tym faktem można tłumaczyć odstępstwa rzeczywistych sygnałów obwiedni od teoretycznych przebiegów obciążenia. Nie do pominięcia są również czynniki wynikające wprost ze sposobu prowadzenia eksploatacji górniczej (sterowania procesem urabiania).



Rys. 11. Przebiegi czasowe stanowiące sygnały modulujące: zmiany obciążenia (0.55Hz) i nieprawidłową pracę jarzma (4Hz) i widmo sumy tych sygnałów



Rys. 12. Wpływ liczby próbek na postać rekonstruowanego sygnału obwiedni związanej z obciążeniem a) 180 próbek – idealna rekonstrukcja, b) 20 próbek c) 10 próbek d) 8 próbek – wyraźne różnice w przebiegu sygnału w porównaniu z wzorcowym sygnałem

5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki prac identyfikujących charakter zmienności obciążenia i jego wpływ na postać drganiowych sygnałów diagnostycznych. Wykazano wyraźny wpływ zmian obciążenia na wartość sygnału. Na zmienność obciążenia wpływa przede wszystkim cykliczny charakter pracy koła czepakowego (czynnik deterministyczny) i zmiany właściwości urabianego materiału (czynnik losowy) oraz sposób sterowania procesem urabiania.

Charakter wyodrębnionego sygnału związanego ze zmianami obciążenia jest zgodny z rozważaniami teoretycznymi oraz pracami eksperymentalnymi.

W analizowanych sygnałach zidentyfikowano także symptomy nieprawidłowej pracy jarzma. Ze względu na niewielkie różnice w częstotliwościach zmian obciążenia i pracy jarzma fakt ten utrudnia w pełni poprawne odseparowanie informacji o obciążeniu w celu dalszego przetwarzania sygnałów (normalizacji sygnału drganiowego).

Cykliczność zmian obciążenia wywołuje także cykliczne zmiany prędkości obrotowej, co praktycznie uniemożliwia stosowanie metod widmowych – na widmie uzyskuje się efekt rozmycia energii prążków.

Na obecnym poziomie znajomości problemu należy stwierdzić, że sygnały drganiowe rejestrowane z badanych obiektów są na tyle niestacjonarne, że metody analizy, które mogą być wykorzystane to analiza obwiedni i metody czasowo-częstotliwościowe.

Te ostatnie – zwłaszcza zawansowane o bardzo dobrej rozdzielczości w dziedzinie czasu i częstotliwości – mogą się okazać kłopotliwe w użyciu ze względu na długi czas cyklu wymaganego do analizy i złożoność obliczeniową.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2005- 2008 jako projekt badawczy.

2. LITERATURA

- [1] Hrynyszyn S.: *Wstęp do diagnostyki przekładni obiegowych napędu głównego koła Czepakowego Koparki Schrs 4600 x 50*, V Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów ustron 13-17 XI 2003.
- [2] Bartelmus W. Zimroz R., Sawicki W. Hrynyszyn S.: *Diagnostyka przekładni planetarnych* Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2005.
- [3] Bartelmus W. Zimroz R.: *Planetary gearbox vibration signal analysis for condition monitoring* COMADEM Conference Cranfield 2005.
- [4] Randall R. B.: *A new method of modeling gear faults*. 1982 Journal of Mechanical Design 104, 259–267.

- [5] Bartelmus W.: *Diagnostyka Maszyn Górnictwo Odkrywkowe* wyd. Śląsk 2000.
- [6] Szepletowski M. *Model obciążenia obwodowego koła czerpakowego w badaniach symulacyjnych napędu koła* IV Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania TUR 2005.
- [7] Radkowski S. *Wibroakustyczna Diagnostyka Uszkodzeń niskoenergetycznych* Wyd. ITE Radom 2002.
- [9] Safizadeh M.S., Lakis A.A., Thomas M. *Using Short-Time Fourier Transforms in Machinery Fault Diagnosis* International Journal of Comadem (2000) 3(1) pp5-16.
- [10] Baydar N., Ball A., *A comparative study of acoustic and vibration signals in detection of gear failures using Wigner-Ville distribution*, MSSP 2001 15(6) pp 1091-1107.
- [11] Radkowski S. *Czasowo-częstotliwościowa analiza sygnału wibroakustycznego* IV Krajowa Konferencja Diag'98, Szczecin 1998.
- [12] Staszewski W. J., Worden K. and Tomlinson G.R., 1997, *Time-Frequency Analysis in Gearbox Fault Detection Using Wigner-Ville Distribution and Pattern Recognition*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 11, No. 5, pp. 673-692.
- [13] Lee S.K. White P. *The L-Wigner Distribution and its use as a Tool for condition monitoring* International Journal of Comadem (2001) 4(1) pp5-11.
- [14] Peng Z. K. and Chu F. L. *Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography* Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 18, Issue 2, March 2004, Pages 199-221.
- [15] Rubini R., Meneghetti U., *Application of the envelope and wavelet transform analyses for diagnosis of incipient faults in ball bearings*, MSSP 2001 15(2), 287-302.
- [16] Wang W. J., McFadden P. D. *Application of the wavelet transform to gearbox vibration analysis*, The 16th Annual Energy Source Technology Conference and Exhibition, Structural Dynamics and Vibration Houston Texas 1993 USA.
- [17] Wilk A. Łazarz B. Madej H. *Wavelet Analysis in diagnosis of selected damages of toothed wheels*, Machine Dynamic Problems vol 23 No2 1999 pp 54-53
- [18] Staszewski W.J. *Application of the wavelet transform to fault detection in a spur gear*. Mechanical Systems And Signal Processing, (8) 1994, Pp. 289-307.
- [19] Brie D., Tomczak M., Oehlmann H., Richard A.. *Gear Crack Detection By Adaptive Amplitude And Phase Demodulation*. Mechanical Systems and Signal Processing, v11, n1, January, 1997, p149-167.
- [20] Gelman L. Zimroz R. et al *Adaptive vibration condition monitoring technology for local tooth damage in gearboxes* Conference on Condition Monitoring , King's College, Cambridge 2005.
- [21] McFadden P. D. *Detecting fatigue Cracks in gears by amplitude and Phase demodulation of the meshing vibration*. Journal of Vibration, Acoustic, Stress and Reliability in Design vol 108 April 1986 s165-170.
- [22] Parker B. i inni *Fault detection using statistical change detection in the bispectral domain* MSSP 14(4)2000 pp561-570.
- [23] Ho D., Randall R. B., *Optimisation of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing fault signals*, Mechanical Systems and Signal Processing 14 (5) (2000) 763–788.
- [24] Stander C. J., And Heyns P. S., Schoombie W. *Using Vibration Monitoring For Local Fault Detection on Gears Operating Under Fluctuating Load Conditions* Mechanical Systems And Signal Processing (2002) 16(6), 1005–1024.
- [25] Stander C.J., Heyns P. S., *Fault detection on gearboxes operating at varying speeds and loads*, *Proceedings of the 13th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, Houston, Texas, 3–8 December 2000, pp. 1011–1020.
- [26] Stander C. J., Heyns P. S. *Instantaneous Angular Speed Monitoring Of Gearboxes Under Non-Cyclic Stationary Load Conditions* Mechanical Systems And Signal Processing 19 (2005) 817–835.
- [27] Bonnardot F., El Badaoui M., Randall R. B., Daniere J., Guillet F. *Use Of The Acceleration Signal Of A Gearbox In Order To Perform Angular Resampling (With Limited Speed fluctuation)* Mechanical Systems And Signal Processing 19 (2005) 766–785.
- [28] Baydar N. and Ball A. *Detection of gear deterioration under varying load conditions by using the instantaneous power spectrum*. 2000 Mechanical Systems and Signal Processing 14, 907–921.
- [29] Meltzer G., Ivanov Yu.Ye. *Fault Detection In Gear Drives With Non-Stationary Rotational Speed Part II: The Time –Quefreny Approach* Mechanical Systems And Signal Processing (2003) 17(2), 273–283.
- [30] Meltzer G. Ivanov Yu.Ye. *Fault Detection In Gear Drives With Non-Stationary Rotational Speed Part I: The Time-Frequency Approach* Mechanical Systems And Signal Processing (2003) 17(5), 1033–1047.
- [31] Cempel Cz., Tabaszewski M. *Skalowanie obserwacji w wielowymiarowej diagnostyce maszyn* Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2005.
- [32] Adamczyk J., Krzyworzeka P. Cioch W. *Możliwości neuronowej klasyfikacji stanu w zmiennych warunkach pracy obiektu —*

Eksploatacji Maszyn. — 1999 vol. 34 z. 2 s. 373–387.

- [33] Bartelmus W., Zimroz R., Hryniszyn S. *Identyfikacja warunków eksploatacyjnych Na potrzeby diagnostyki przekładni planetarnej do napędu koła czerpakowego* Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2006.
- [34] Wojnar G., Łazarz B, Madej H: *Diagnozowanie przekładni zębatych w przypadku pracy ze zmiennymi w czasie prędkościami obrotowymi i obciążeniami* Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2006.



Prof. dr hab. inż. Walter BARTELMUS, specjalista z zakresu eksploatacji, dynamiki i diagnostyki maszyn. Autor około 150 publikacji w tym jednej książki oraz współautor trzech monografii. Pracownik

Politechniki Śląskiej (1967-1980) Instytutu Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław (1980-1993), Politechniki Wrocławskiej (od 1994). Stypendia i wykłady: Polytechnic of Central London, Swansea University College, Southampton Institute Systems Engineering Research Center, Gunma University, Laboratoire d'Analyse des Signaux & des Processus Industriels,. Wykłady na zaproszenia i w ramach programu Sokrates-Erasmus: Vaxjo University, Lulea University, Compiegne UTC, Cranfield University.



Dr inż. Radosław ZIMROZ, absolwent Akustyki Wydziału Elektroniki PWr 1998, doktorat na Wydziale Górniczym PWr 2002 (z wyróżnieniem). Od 1998 w Zakładzie Systemów Maszynowych IG PWr. Staż naukowy (9 miesięcy) w Cranfield

University, (SOE/PASE/AMAC). Zainteresowania z zakresu modelowania i diagnostyki przekładni zębatych, przetwarzania sygnałów drganiowych, zastosowania metod sztucznej inteligencji w diagnostyce maszyn, systemów monitorowania i diagnozowania drgań.