

OCENA DIAGNOSTYCZNA PODAJNIKA ŚLIMAKOWEGO MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH NA PODSTAWIE BADAŃ AKUSTYCZNYCH

THE DIAGNOSTIC EVALUATION OF A FEEDING SCREW ON THE BASIS OF ACOUSTIC TESTING

Piotr Sokolski – Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska

Przedstawiono wyniki badań podajnika ślimakowego do transportowania materiałów ziarnistych. Do oceny stanu technicznego tego urządzenia zastosowano metodę akustyczną. Wyznaczono podstawowe wskaźniki sygnałów diagnostycznych badanego obiektu dla różnych parametrów roboczych i powiązano je z symptomami procesów zużyciowych. Podano zalecenia odnośnie do dalszej eksploatacji podajnika.

The results of testing of a feeding screw applied to transportation of loose material were presented. Acoustic method for evaluation of the technical state of this device was used. The diagnostic indexes for several values of operating speed were determined and joined with corresponding symptoms of wear processes. The recommendations for the further work of the feeder were presented.

Wprowadzenie

Podajniki ślimakowe należą do podstawowych składników systemów mechanicznego transportu ciągłego materiałów sypkich i drobnoziarnistych. Obszary zastosowań tych urządzeń obejmują m. in. przemysł budowlanych materiałów wiążących (cement, wapno, gips), inżynierię lądową (budowa dróg), przetwórstwo tworzyw sztucznych, recykling odpadów przemysłowych i komunalnych, produkcję pasz dla zwierząt.

Podajniki ślimakowe znajdują zastosowanie podczas dozowania ośrodków rozdrobnionych, zwłaszcza gdy transport ten odbywa się na niewielkich odległościach.

Podstawowymi zaletami tych urządzeń są m. in. prosta budowa, możliwość przenoszenia materiałów zarówno w poziomie jak i pod dowolnym nachyleniem (także w pionie), wysoka precyzja dozowania podawanego materiału, ochrona środowiska przed zapyleniem, ochrona przenoszonych materiałów przed wilgocią i zanieczyszczeniem.

Dla efektywnej eksploatacji tych maszyn należy mieć na uwadze ich wady, z których najistotniejszą są znaczne opory ruchu. Problem ten spowodowany jest tarciem transportowanego ośrodka o elementy podajnika i skutkuje znacznym wydatkiem energetycznym oraz przyspieszonym zużyciem.

Jednym z istotnych warunków prawidłowej eksploatacji tego typu urządzeń jest bieżące lub okresowe monitorowanie ich stanu technicznego. Na podstawie wyników obserwacji diagnostycznych można bowiem zawnazu dostrzec postępującą degradację własności użytkowych i stosownie do tego zaplanować terminy przeglądów oraz wymiany elementów lub podzespołów [5, 6].

Uniwersalnym narzędziem w tym zakresie może być diagnostyka wibroakustyczna, wykorzystująca współzależność między parametrami sygnałów drganiowych i akustycznych a procesami zużyciowymi i uszkodzeniami, warunkującymi zdolność maszyny do dalszej eksploatacji. Istotną zaletą metod wibroakustycznych jest możliwość ich stosowania w toku normalnej pracy badanych obiektów.

Podstawą metody diagnozowania akustycznego jest wykorzystanie faktu, że procesy zużyciowe i powstawanie uszkodzeń generują dodatkowy hałas, tj. są źródłem sygnałów akustycznych o określonej strukturze czasowej i widmowej [1-4, 7].

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki zastosowania metody diagnozowania akustycznego do oceny stanu technicznego laboratoryjnego podajnika ślimakowego materiałów drobnoziarnistych.

Obiekt badań

Obiektem oceny diagnostycznej był prototypowy podajnik ślimakowy w doświadczalnej linii do badań procesu roboczego młynów powietrzno – fluidalnych, zainstalowanej w laboratorium Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej.

Podstawowym podzespołem podajnika jest wał z pełnym uzwojeniem ślimakowym, napędzany motoreduktorem. Regulacja prędkości obrotowej wału ślimakowego odbywa się za pomocą falownika.

Na czas pomiarów – w celu ułatwienia dostępu aparatury badawczej i późniejszego demontażu elementów – obiekt badań został wymontowany z linii przeróbczej i osadzony na tymczasowej konstrukcji wsporczej (rys. 1).

Wyniki badań diagnostycznych

Do oceny stanu technicznego podajnika ślimakowego zastosowano metodę, wykorzystującą – jako sygnał – ciśnienie akustyczne hałasu generowanego w procesie roboczym. Jako aparaturę badawczą wykorzystano sonometr SVAN 945A (Svantek).

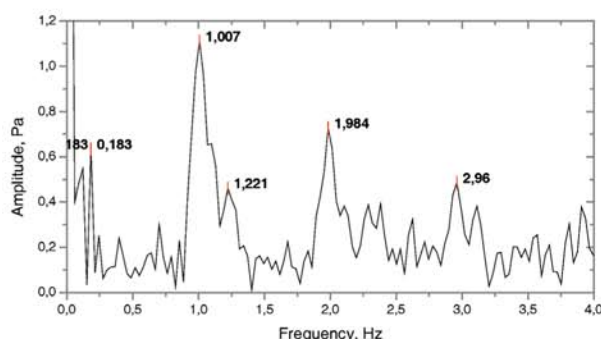
W metodzie akustycznej jednym z podstawowych problemów natury praktycznej jest wrażliwość na zakłócenia zewnętrzne i podatność sygnałów diagnostycznych na szum, utrudniający prawidłowe wnioskowanie.

W toku badań podajnika stwierdzono istotny wpływ



Rys. 1. Badany podajnik ślimakowy
Fig. 1. Screw-conveyor feeder to be tested

miejsca pomiaru ciśnienia akustycznego na uzyskiwane wyniki. Jeśli bowiem mikrofon był umiejscowiony nad gardzielą wlotową do komory roboczej, to wówczas sygnał diagnostyczny był zakłócany m. in. przez hałas zespołu napędowego. W efekcie w widmie sygnału (ciśnienia akustycznego) występowały dodatkowe harmoniczne hałasu – trudne do jednoznacznego zinterpretowania – generowane procesami zużyciowymi w zespole motoreduktora (rys. 2).



Rys. 2. Widmo sygnału diagnostycznego (ciśnienia akustycznego) zakłócanego hałasem zespołu napędowego
Fig. 2. Spectrum of diagnostic signal (sound pressure) disturbed with driving unit noises

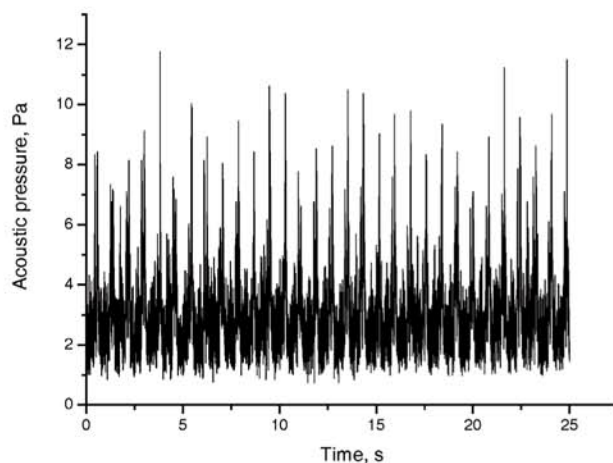
Mając to na uwadze, w celu ograniczenia wpływu oddziaływania dodatkowych źródeł hałasu (motoreduktora) oraz pozostałych zakłóceń pochodzących od otoczenia (tła akustycznego), pomiary wykonywano mikrofonem umieszczonym w komorze roboczej podajnika, nad zespołem wału ślimakowego.

Badania przeprowadzono dla różnych warunków obciążenia podajnika w przedziale prędkości obrotowej wału ślimaka $n=10 \div 75$ obr/min.

Przykładowy przebieg czasowy ciśnienia akustycznego w komorze roboczej podajnika przedstawiono na rysunku 3.

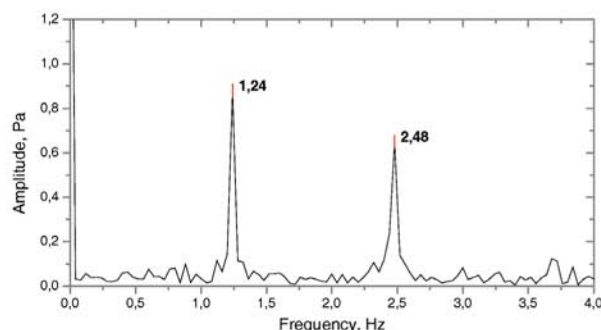
Charakterystyczne przykłady widma amplitudowego sygnałów diagnostycznych (ciśnienia akustycznego) dla różnych warunków pracy podajnika przedstawiono na rysunkach 4 – 5.

Na podstawie analizy wyników daje się zauważyć występowanie podstawowej częstotliwości f_0 wynikającej z prędkości obrotowej podajnika. Pojawianie się tej składowej jest efektem skrzywienia wału ślimakowego, stwierdzonego po późniejszym demontażu zespołu podajnika. Oprócz częstotliwości podstawowej f_0 w widmie stwierdzano występowanie jej dwóch harmonicznych o częstotliwościach $f_{0(1)} = 2f_0$ i $f_{0(2)} = 3f_0$ (rys. 4 - 5).



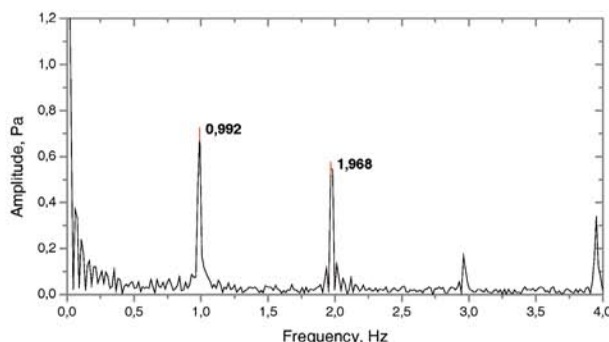
Rys. 3. Przebieg czasowy sygnału diagnostycznego (ciśnienia akustycznego w komorze roboczej podajnika) przy maksymalnej prędkości obrotowej wału ślimakowego

Fig. 3. Time course of diagnostic signal (sound pressure in feeder working chamber) at maximal rotational speed of wormshaft



Rys. 4. Widmo amplitudowe sygnału diagnostycznego (ciśnienia akustycznego w komorze roboczej podajnika) przy maksymalnej prędkości obrotowej wału ślimaka

Fig. 4. Amplitude spectrum of diagnostic signal (sound pressure in feeder working chamber) at maximal rotational speed of wormshaft



Rys. 5. Widmo amplitudowe sygnału diagnostycznego (ciśnienia akustycznego w komorze roboczej podajnika) przy średniej prędkości obrotowej wału ślimakowego

Fig. 5. Amplitude spectrum of diagnostic signal (sound pressure in feeder working chamber) at medium rotational speed of wormshaft

Przy mniejszych prędkościach obrotowych podajnika $n \rightarrow 10$ obr/min w widmie sygnału diagnostycznego pojawiała się dodatkowa częstotliwość $f_1 \approx 4f_0$ i jej składowe harmoniczne $f_{1(1)} = 2f_1$ i $f_{1(2)} = 3f_1$ pochodzące od tarcia krawędzi uzwojenia ślimakowego o powierzchnię wewnętrzną koryta (rynnny) – wskutek klinowania się drobnych kawałków transportowanego materiału.

Dla potrzeb wnioskowania diagnostycznego wyznaczono

wartości liczbowe następujących parametrów statystycznych przebiegów czasowych ciśnienia akustycznego:

- współczynnik asymetrii $A = 1,5 \div 2,1$
- współczynnik kształtu $FF = 1,0 \div 1,5$
- współczynnik szczytu $C = 3,0 \div 5,0$
- kurtoza $Kurt = 3,0 \div 4,5$

Wskaźniki te testowano pod kątem ich wrażliwości diagnostycznej i przydatności do oceny stanu technicznego zespołu wału ślimakowego badanego podajnika.

Z literatury przedmiotu (np. [3, 4]) oraz badań własnych autora wynika, że zwłaszcza kurtoza stanowi skuteczną, uszkodzeniowo – zorientowaną, miarę sygnału diagnostycznego. Uzyskana w toku badań wartość $Kurt \geq 3,0$ świadczy o zwiększonej koncentracji rozkładu statystycznego wartości sygnału diagnostycznego (ciśnienia akustycznego) i może być symptomem pogorszenia stanu technicznego zespołu podajnika, a nawet – przekroczenia granicy jego bezwarunkowej zdatności do eksploatacji. Należy jednak zwrócić uwagę, że kurtoza rozkładu ciśnienia akustycznego przyjmowała zmienne wartości, na które wpływ miała stosowana w czasie badań prędkość robocza podajnika. Charakter tej zależności był odwrotnie proporcjonalny: wraz ze wzrostem prędkości wartość kurtozy malała. Na tej podstawie można stwierdzić, że degradacja urządzenia, na obecnym stopniu jej zaawansowania przejawia się bardziej w czasie wolniejszej pracy ślimaka.

W przypadku konieczności dalszej eksploatacji podajnika

powinna więc ona odbywać się przy dużych wartościach prędkości roboczej, co jest dodatkowo uzasadnione z perspektywy wzrostu wydajności procesu transportowania materiału.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono metodę diagnozowania podajnika ślimakowego na podstawie analizy sygnału akustycznego. W celu sformułowania trafnej oceny badanego obiektu, pomiary przeprowadzone zostały dla kilku prędkości roboczych urządzenia. W oparciu o widmo amplitudowe ciśnienia akustycznego stwierdzono istotny wpływ umiejscowienia przyrządu pomiarowego na uzyskane wyniki. Analiza zarejestrowanych zakłóceń mierzonego sygnału umożliwiła określenie najkorzystniejszej lokalizacji punktu badawczego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono deformację linii śrubowej ślimaka, co przejawiało się występowaniem dodatkowych składowych w widmie amplitudowym. W oparciu o wyznaczone wartości parametrów statystycznych przebiegów czasowych ciśnienia akustycznego, stwierdzono pogorszenie stanu technicznego podajnika. Degradacja urządzenia bardziej uwidacznia się podczas pracy z małymi wartościami prędkości roboczych. Gdy konieczna będzie dalsza praca podajnika w wolnoobrotowym zakresie eksploatacji ślimaka, należy przeprowadzić remont lub wymianę układu roboczego.

Literatura

- [1] Bartelmus W., *Diagnostyka maszyn górniczych*. Górnictwo odkrywkowe. Wydawnictwo Śląsk, Katowice. 1998
- [2] Bartelmus W., Zimroz R., *Diagnozowanie stanu technicznego przekładni zębatych pracujących w zmiennych warunkach obciążenia z wykorzystaniem badań eksperymentalnych i symulacji komputerowej*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały, Wrocław. 2010. s. 15-23
- [3] Cempel Cz., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa. 1982
- [4] *Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań*. Red. Cempel Cz., Tomaszewski F., Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom. 1992
- [5] Przystupa F. W., *Diagnostic equivalent for widespread manufacturing system*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. X, No. 3. 2010, s. 111-122
- [6] Przystupa F. W., *Diagnozer w systemie technicznym: od ontologii i aksjologii do praktyki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Seria: Monografie, Wrocław. 2010
- [7] Żółtowski B., *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz. 1996

Artykuł recenzowali dr hab. inż. Franciszek W. Przystupa, prof. PWr
doc. dr inż. Andrzej Figiel

Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. *2220