

Stanisław FOBER, Aleksander LUTYŃSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

OCENA STANU TECHNICZNEGO WIRÓWKI SEDYMENTACYJNO-SITOWEJ METODĄ ANALIZY WIBROAKUSTYCZNEJ

Streszczenie. W referacie zaprezentowane zostały wyniki badań wibroakustycznych wirówki sedymentacyjno-sitowej firmy BIRD model 6400, pracującej w zakładzie przeróbki mechanicznej jednej z kopalń węgla kamiennego. Badania wibroakustyczne oraz analiza wyników przeprowadzono przy użyciu aparatury firmy Brüel & Kjær.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL STATE OF A SETTING SCREEN CENTRIFUGE BY MEANS OF THE ACOUSTIC VIBRATION ANALYSIS

Summary. The paper presents results of acoustic vibration examinations on a setting screen centrifuge of the BIRD manufacture type 6400 which is in operation in the coal preparation plant of one of coal mines. The acoustic vibration examinations and the analysis of the obtained results have been carried out with the aid of the Brüel & Kjær apparatus.

1. Wprowadzenie

W wyniku postępującej mechanizacji wydobywania węgla kamiennego, głównie za sprawą urabiania i transportu, wzrasta w nadawie ilość ziaren drobnych i bardzo drobnych. Węgiel surowy wydobyty z podziemi kopalni poddawany jest procesom przeróbczym, które w znacznej mierze są procesami mokrymi. Przykładem niech tu będą: klasyfikacja hydrauliczna, wzbogacanie grawitacyjne w ośrodku wodnym, wzbogacanie flotacyjne, odmulanie i przemywanie kopalni itp. Produkty wzbogacania, a więc koncentraty, produkty pośrednie lub przejściowe i odpady należy odvodnić przed ich skierowaniem do zużycia, przetwórstwa, magazynowania lub na zwałowiska. Stopień odwadniania zależy od wymagań rynku zbytu lub warunków dalszej przeróbki odwodnionych produktów. Wzrastająca ilość ziaren drobnych powoduje znaczne problemy z uzyskaniem wymaganego poziomu wilgotności produktu. Maszyną przeznaczoną do odwodnienia ziaren drobnych jest wirówka sedymentacyjno-sitowa firmy BIRD. Do polskich kopalń wprowadzono ją w 1996r. Istota procesu odwadniania tą wirówką polega na silnym zagęszczeniu odwadnianego materiału w części sedymentacyjnej wirówki, a następnie usunięciu resztek wody z zagęszczonego osadu.

Wirówka posiada określone reżimy pracy i trwałości poszczególnych jej elementów. Okresowo jest ona przeglądana i podawana kontroli w celu oceny stopnia zużycia wybranych elementów. Kontrola taka, w zależności od poziomu jej wnikliwości, wymaga na ogół częściowego demontażu maszyny, wykonania pewnych pomiarów itp. Są to zabiegi pracochłonne, które zaliczyć można do inwazyjnego sposobu diagnozowania maszyn.

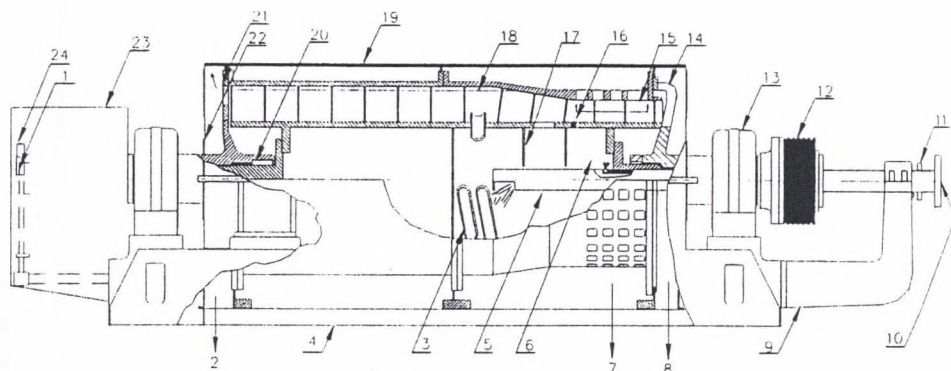
W badaniach maszyn należących do zbiorów wykonywanych wg wspólnej lub zbliżonej konstrukcji istnieje możliwość stosowania do oceny stanu maszyny metod „pośrednich”. Metody te polegają na rozpoznaniu stanu działającej maszyny na podstawie zewnętrznych skutków działania, tzn. w wyniku badań prowadzonych technikami nieinwazyjnymi [2], [3]. Zaletą technik nieinwazyjnych jest możliwość diagnozowania lub monitorowania (kontroli ciągłej) bez przerywania normalnej pracy. Diagnostyka wibroakustyczna jest jedną z technik diagnostyki nieinwazyjnej [4].

2. Charakterystyka obiektu badań

Konstrukcja wirówki sedymentacyjno-sitowej firmy BIRD model 6400 jest podobna do konstrukcji konwencjonalnej wirówki bezsitowej (sedymentacyjnej) stosowanej do odwadniania bardzo drobnych ziaren (mułów) [5]. Różnica w budowie tej wirówki polega na tym, że stożkowy pokład odwadniający zastąpiony został cylindrycznym, perforowanym elementem wyposażonym w sita. Wirówka pracuje w sposób ciągły, a więc przy ciągłym zasilaniu i odbiorze produktów rozdziału.

Na rys. 1 zaprezentowano ogólną budowę tej wirówki. Zasadniczymi jej elementami są: kombinowany bęben sitowy i przenośnik. Bezsitowy fragment bębna, w którym zachodzi proces początkowego rozdziału ciał stałych i cieczy w zawieszynie (klarowanie), składa się z fragmentów w kształcie walca i w kształcie stożka ściętego. Fragment bębna, w którym znajduje się sito, ma kształt walca, a jego średnica jest równa średnicy mniejszej stożka ściętego. Długości poszczególnych fragmentów bębna (pełny walcowy, pełny stożkowy i perforowany walcowy) są różne i i zależą od typu procesu technologicznego, do którego wirówka sedymentacyjno-sitowa została dobrana.

Odległość pomiędzy zgarniakami przenośnika a bębniem jest ograniczona do niezbędnego technologicznie minimum. Przenośnik podparty jest obrotowo z obydwu stron na tulejach wciśniętych w głowicę bębna, obracając się z prędkością obrotową nieco niższą od prędkości obrotowej bębna (o 25 obr/min). Jest to realizowane przy użyciu przekładni planetarnej zębatej, obracającej się z tą samą prędkością obrotową co bęben. Wywołana wysokimi obrotami bębna (1000 obr/minn) siła odśrodkowa sprawia, że nadawa rozprowadzana jest blisko ścianek bębna tworząc rodzaj pustego cylindra.



Rys.1 Wirówka sedymentacyjno-sitowa firmy BIRD model 6400; 1 – urządzenie bezpiecznikowe przeciążeniowe, 2- wylot odciek, 3 – otwory wlotowe nadawy, 4 – rama nośna, 5 – rura zasilająca, 6 – komora omywająca, 7 – odciek sita, 8 – wylot produktu stałego, 9 – wspornik rury zasilającej, 10 – wlot nadawy, 11 – wlot cieczy do przemywania, 12 – koło napędowe, 13 – łożysko ślizgowe dzielone i łożysko główne, 14 – wlot i zgarniacze materiałów stałych, 15 – segment sitowy, 16 – dysza omywająca, 17 – komora cieczy omywającej, 18 – poziom cieczy w bębnie, 19 – obudowa 20 – uszczelnienia czopów, 21 – regulowany przelew odciek, 22 – odrzutnik oleju, 23 – przekładnia, 24 - przełącznik przeciążeniowy obrotowy

Fig.1 Setting screen centrifuge made by BIRD Company type 6400

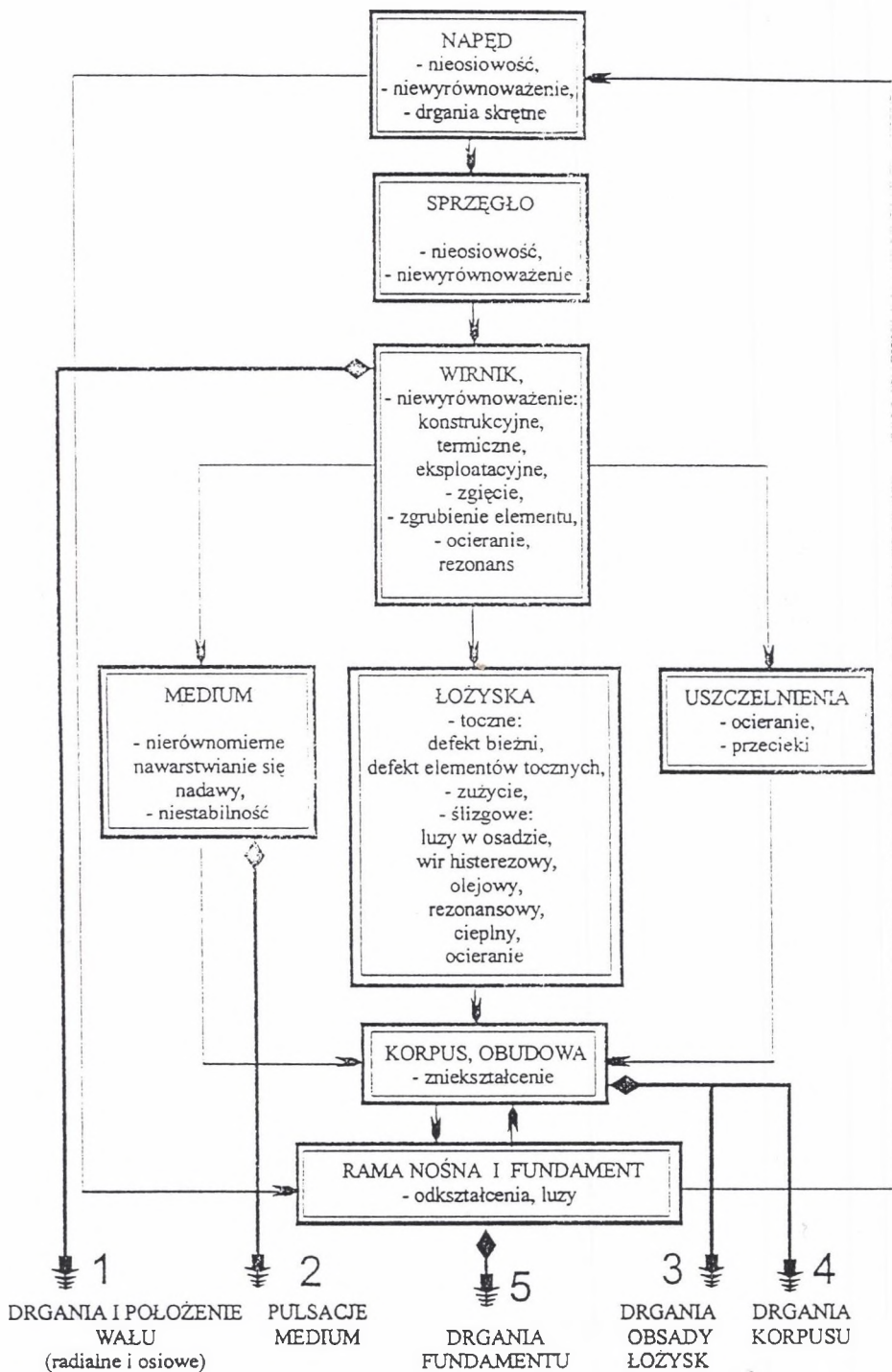
W miarę zwiększania się ilości nadawy w bębnie zmienia się poziom płynu, który po przekroczeniu poziomu przelewów zaczyna się przelewać do komory obudowy bębna. Przez cały czas podawania nadawy do bębna poziom zawiesziny w bębnie jest ustalony, a odciek z wirówki wypływa.

Siła odśrodkowa działająca na ziarna zawiesziny sprawia, że osadzają się one na wewnętrznej ścianie bębna tworząc uformowaną warstwę. Warstwa ta jest przenoszona przenośnikiem w kierunku otworu wylotowego produktu stałego. W trakcie przenoszenia materiał stały zostaje wyniesiony ponad poziom cieczy w bębnie. Umożliwia to pewne odwodnienie materiału stałego wskutek odsączania się wody w kierunku większej średnicy stożka ściętego. Ostateczne odwadnianie materiału następuje w trakcie przemieszczania się produktu przez część sitową bębna.

Każdy z elementów składowych zespołu wirującego jest osobno wyważony, a drgania mogą wystąpić w przypadku, gdy nastąpi zużycie materiałowe lub zniekształcenie któregoś elementu. Schemat oddziaływań siłowych wraz z potencjalnymi możliwościami odbioru sygnałów diagnostycznych przedstawia rys. 2.

3. Aparatura użyta do pomiarów i analizy drgań wirówki sedymentacyjno-sitowej

Utworzenie modelu diagnostycznego warunkowane jest znajomością: ogólnych zasad klasyfikacji stanów obiektu i symptomów niesprawności, fizyki źródeł elementarnych dźwię-



Rys.2. Schemat oddziaływań siłowych wraz z potencjalnymi możliwościami odbioru sygnałów diagnostycznych wirówki sedimentacyjno-sitowej

Fig.2. Diagram of force reaction along with potential receiving of diagnostic signals relating to the setting screen centrifuge

ków i drgań oraz konstrukcji diagnozowanego obiektu i jego podstawowych elementów. Do oceny drgań stosuje się układy aparatury, będące zespołami środków technicznych, które pozwalają na przesyłanie i przetwarzanie sygnałów od czujnika do odbiornika. Układy aparatury powinny umożliwiać pomiar parametrów drgań w szerokim zakresie częstotliwości i amplitud przyspieszeń lub prędkości [4]. Do przeprowadzenia pomiarów użyto zestawu aparatury firmy Brüel & Kjaær, będącego własnością Instytutu Mechanizacji Górnictwa. Elementami tego zestawu były: jednoosiowy czujnik przyspieszeń typu 4391, wzmacniacz ładunku typu 2643, rejestrator (magnetofon pomiarowy) przenośny typu 7005 czterokanałowy, analizator drgań typu 2515, moduł zapisu typu 0053 do magnetofonu typu 7005, interfejs (karta) typu IEEE 488 ze sterownikiem firmy Iotech, zasilacz do wzmacniaczy B&K komputer klasy IBM PC.

4. Sposób przeprowadzenia badań i uzyskane wyniki

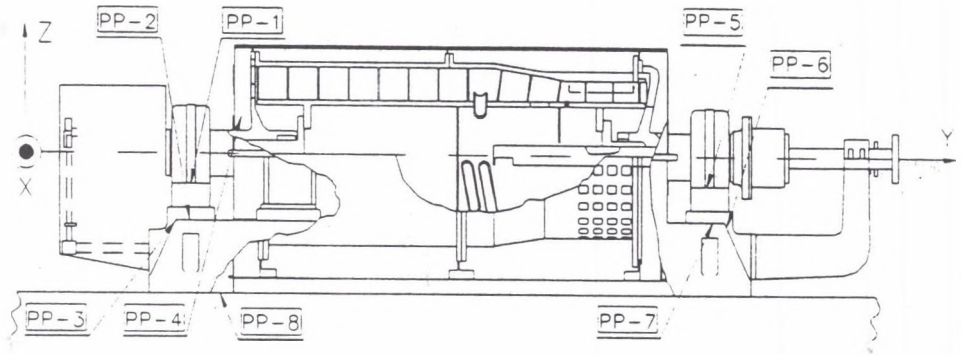
Pomiary wibroakustyczne wirówki sedymentacyjno-sitowej firmy BIRD model 6400 wykonane zostały w warunkach normalnej eksploatacji [1], po półrocznym okresie jej użytkowania w zakładzie przerobczym. Obciążenie wirówki nadawane podczas wykonywanych pomiarów wynosiło 70% jej nominalnej wartości. Po dokonanej analizie wytypowano 8 punktów pomiarowych, w których mocowane były czujniki piezoelektryczne. Miejsca montażu tych czujników prezentuje rys. 3.

Czujniki piezoelektryczne mocowane były w następujących punktach wirówki :

- punkt pomiarowy nr 1 (PP1) w płaszczyźnie Z na obudowie łożyska głównego zespołu wirującego od strony odcieku,
- punkt pomiarowy nr 2 (PP2) w płaszczyźnie Z na ramie wirówki od strony odcieku,
- punkt pomiarowy nr 3 (PP3) w płaszczyźnie Y na ramie wirówki od strony odcieku,
- punkt pomiarowy nr 4 (PP4) w płaszczyźnie X na obudowie bębna,
- punkt pomiarowy nr 5 (PP5) w płaszczyźnie Z na obudowie łożyska głównego zespołu wirującego od strony rury zasilającej,
- punkt pomiarowy nr 6 (PP6) w płaszczyźnie Y na ramie od strony zasilania,
- punkt pomiarowy nr 7 (PP7) w płaszczyźnie X na ramie od strony zasilania,
- punkt pomiarowy nr 8 (PP8) w płaszczyźnie Z na fundamencie betonowym.

Aparaturę przed wykonanymi badaniami poddano sprawdzeniu i weryfikacji z użyciem specjalistycznej aparatury wzorcującej w laboratoriach Instytutu Mechanizacji Górnictwa.

Zarejestrowane wyniki pomiarów poddano wnikliwej analizie. W celu określenia źródeł drgań posłużono się analizą widmową mocy w dwóch zakresach częstotliwości. Pierwszy zakres częstotliwości widma mocy wyniósł $80\text{Hz} \pm 20\text{kHz}$, a szerokość pasma $\Delta f = 80\text{Hz}$. Drugi zakres częstotliwości widma mocy wyniósł $0,8 \pm 200\text{Hz}$, a szerokość pasma $\Delta f = 0,8\text{Hz}$. Dla



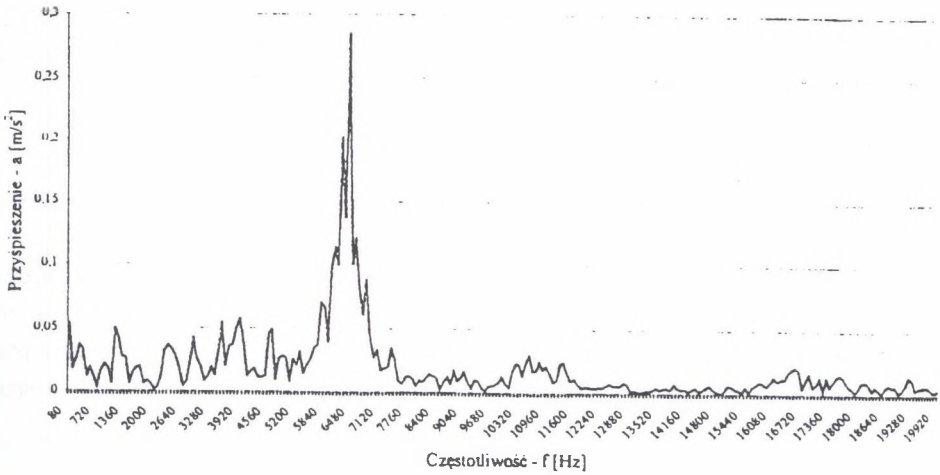
Rys.3. Miejsca montażu czujników w piezoelektrycznych podczas pomiarów wibroakustycznych wirówki sedimentacyjno-sitowej

Fig.3. Places of mounting of piezoelectric sensors during acoustic vibration measurements on the setting screen centrifuge

każdego punktu pomiarowego wykonano po dwie analizy. Uzyskane w ten sposób widma mocy posłużyły określeniu stanu technicznego wirówki. W zależności od punktu pomiarowego można odczytać różne całkowite wartości skuteczne (Total) oraz rezonanse o różnych częstotliwościach (f) i amplitudach przyspieszeń (a). Pozwala to na wykrycie różnego typu uszkodzeń, które podczas eksploatacji mogą w końcowym rezultacie doprowadzić do awarii wirówki.

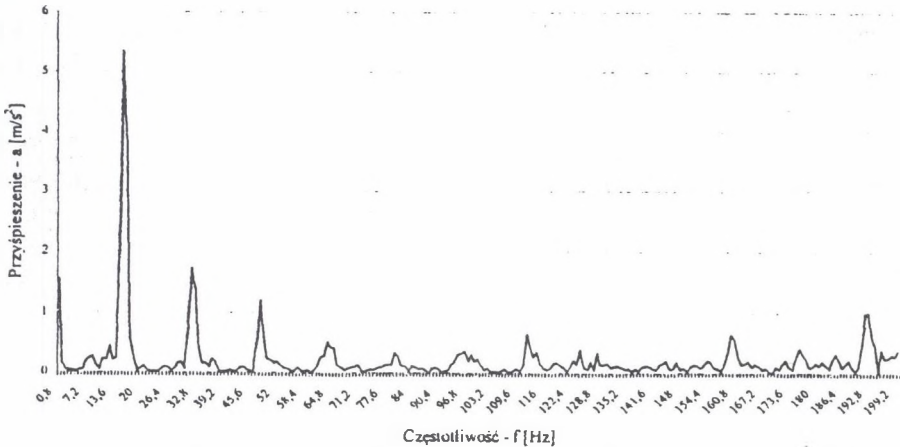
Przykłady analizy widmowej dla punktu pomiarowego nr 1 i dla obu zakresów częstotliwości przedstawiono na rys. 4 i 5.

Przeprowadzona analiza widmowa oraz zdefiniowanie hipotetycznych źródeł rejestrowanych wyższych poziomów przyspieszeń wskazało na pewne nieprawidłowości funkcjonowania badanej wirówki. I tak, przykładowo, z wyników analizy dla punktu pomiarowego nr 1 (PP 1), zaprezentowanych na rys. 4, można odczytać rezonanse częstotliwości 6080, 6240, 6400, 6560 i 6800 Hz o maksymalnej amplitudzie $a = 0,2856 \text{ m/s}^2$. Przyczyną tych drgań jest przenoszenie obciążenia przez przenośnik śrubowy na przekładnię redukcyjną 23 (rys.1), która redukuje obroty zadawane na przenośnik. Poszczególne częstotliwości są funkcją liczby zębów kół zębatych przekładni. W zakresie niższych częstotliwości punktu pomiarowego nr 1 (rys.5) można zauważyć składowe widma o częstotliwościach 16 Hz i jej harmoniczne o wartościach 32, 48 i 64 Hz (w kierunku osi Z) o maksymalnym przyspieszeniu $5,355 \text{ m/s}^2$. Jest to częstotliwość obrotów bębna wirówki. Można więc z tego wnioskować, że przyczyną rejestrowanych drgań może być niewyważenie wału lub bębna. Podobne wnioski wyciągnąć można w odniesieniu do każdego z pozostałych punktów pomiarowych wirówki.



Rys. 4. Analiza widmowa sygnału mocy w PP1. Zakres analizy 80Hz – 20kHz

Fig. 4. Signal spectrum analysis of the power signal in PP1. Range of the analysis 80Hz – 20kHz



Rys. 5. Analiza widmowa sygnału mocy w PP1. Zakres analizy 0,8Hz – 200Hz

Fig. 5. Signal spectrum analysis of the power signal in PP1. Range of the analysis 0,8Hz – 200Hz

W punkcie pomiarowym nr 2 oraz 3 przeprowadzona analiza w zakresie wyższych częstotliwości wskazuje na pewne nieprawidłowości w pracy przekładni - brak współosiowości przekładni oraz nieprawidłowe działanie łożyska przekładni zębatej lub wpustu sprzęgającego. W zakresie niższych częstotliwości rejestrowane rezonanse mogą być spowodowane brakiem współosiowości wału napędowego z przekładnią.

W punkcie pomiarowym nr 4 zarejestrowane rezonanse wskazują na luzy osiowe wału i brak współosiowości wału przekładni i przenośnika.

Wyniki pomiarów uzyskane dla punktu pomiarowego nr 5 potwierdzają wyniki analizy widma dla punktu pomiarowego nr 1. Na podstawie pomiarów w obu punktach stwierdzić można, że stan łożyska głównego wirówki od strony przekładni jest gorszy niż stan łożyska głównego od strony zasilającej.

Widmo uzyskane w punkcie pomiarowym nr 6 potwierdza spostrzeżenia wynikające z analizy wyników punktu pomiarowego nr 3. Również wyniki uzyskane z pomiarów w punkcie nr 7 mają podobny rozkład drgań jak w punktach 2 i 3. Drgania te generowane są tymi samymi niesprawnościami wirówki.

Widmo drgań fundamentu (punkt pomiarowy nr 8), na którym posadowiona jest wirówka sedymentacyjno-sitowa, wskazuje na pewne przenoszenie wielu składowych drgań wymienionych wcześniej niesprawności. Jednak w wyniku częściowego ich pochłaniania przez izolatory, na których zabudowana jest wirówka, maksymalne amplitudy przyspieszeń osiągają znacznie mniejsze wartości.

5. Podsumowanie

Wykonane badania wibroakustyczne potwierdziły przydatność przyjętej metody nieinwazyjnego diagnozowania stanu technicznego wirówki sedymentacyjno-sitowej. Również aparatura do pomiarów wibroakustycznych i analizy uzyskanych wyników potwierdziła swoją przydatność w warunkach badań przemysłowych.

Domniemane przyczyny zwiększonych amplitud przyspieszeń potwierdzone zostały podczas przeglądu wirówki, który wykonany został w terminie nieco późniejszym w stosunku do czasu jej badania wibroakustycznego.

Ponieważ w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego wprowadzanych jest coraz więcej wirówek sedymentacyjno-sitowych, będących ważnym elementem procesu technologicznego, istotne byłoby prowadzenie systematycznych badań przemysłowych tych urządzeń. Celem tych badań byłoby stworzenie podstaw do pełnej oceny stanu wirówek i wyznaczenia krytycznych poziomów amplitud przyspieszeń dla poszczególnych rodzajów niesprawności, kwalifikujących wirówki do przeglądów lub remontów.

LITERATURA

1. Adamczyk P.: Określenie stanu technicznego wirówki sedymentacyjno-sitowej firmy BIRD na podstawie analizy wibroakustycznej. Praca dyplomowa. Instytut Mechanizacji Górnictwa. Politechnika Śląska, Gliwice 2000
2. Cholewa W., Kazimierczak J.: Diagnostyka techniczna maszyn (Przetwarzanie cech sygnałów). Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1904, Gliwice 1995

3. Cholewa W., Moczulski W.: Diagnostyka techniczna maszyn (Pomiary i analiza sygnałów). Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1758, Gliwice 1993
4. Fober S. Spalek J.: Drgania i hałas. Metody pomiaru, analizy i interpretacji sygnałów drganiowych. IV Konferencja Naukowo-Techniczna: „Trwałość elementów i węzłów”. Gliwice, Ustroń 1995
5. Dokumentacja techniczno-ruchowa wirówki sedymentacyjno-sitowej firmy BIRD model 6400

Recenzent: Dr hab. inż. Walter Bartelmus
Prof. Politechniki Wrocławskiej

Abstract

The paper presents results of acoustic vibration examinations on a setting screen centrifuge of the BIRD manufacture type 6400 which is in operation in the coal preparation plant of one of coal mines. The acoustic vibration examinations and the analysis of the obtained results have been carried out with the aid of the Brüel & Kjær apparatus.

The examinations have been preceded by an analysis of the centrifuges design, the selection of the apparatus for tests and analysis, stating of eight places of the centrifuge for mounting of a uniaxial acceleration detecting element. The load of the centrifuge when being examined amounted to 70% of its rating.

The spectroscopic analysis of power within two ranges of frequency has been utilized in order to determine sources of vibrations. The first frequency range of power spectrum was 80 Hz±20 kHz and a bandwidth amounted to $\Delta f=80\text{Hz}$. The other frequency range of power spectrum was 0,8±200 Hz and a bandwidth $\Delta f=0,8\text{Hz}$.

After the acoustics vibration examinations had bin performed the centrifuge was dismantled and subjected to the careful inspection in order to find out inefficiencies resulting from one and a half years operation of the centrifuge.

The performed examinations have confirmed that the assessment of technical state of the centrifuge under application of a non-invasive methods is possible.