

WALTER BARTELMUS
INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICtwo
GLIWICE

DIAGNOSTYCZNA METODA WIBROAKUSTYCZNEJ
OCENY NIEZAWODNOŚCI MASZYN GÓRNICZYCH

W referacie przedstawiono cel diagnostyki maszyn. Ogólne podstawy wibroakustycznej metody diagnostycznej. Podstawy koherencyjnej metody diagnostyki maszyn. Przykład zastosowania koherencyjnej metody diagnostycznej do oceny stanu zażebienia przekładni. Przykład zastosowania wibroakustycznej metody do określania przyczyn nierównomierności biegu przekładni zębatej maszyny wyciągowej.

1. Cel diagnostyki maszyn

Celem diagnostyki maszyn jest określenie aktualnego stanu technicznego obiektu /maszyny/. Przez stan maszyny rozumie się ogół wewnętrznych cech maszyny w jakiejś chwili t [13]. Przedstawiana metoda diagnostyczna jest rozumiana jako część szerszego bardziej ogólnego celu zwiększenia niezawodności maszyn i ich trwałości. Diagnostyka ma na celu umożliwienie realizacji jednego z celów teorii niezawodności, jakim jest przewidywanie awarii i poszukiwanie technicznych możliwości zapobiegania im. [14].

Chociaż uszkodzenia powstają prawie zawsze nieoczekiwanie, to nie znaczy wcale, że procesy prowadzące do awarii przebiegają nagle w jednej chwili. Zawsze upływa pewien okres czasu, zwykle dość długi, zanim niewielki defekt w maszynie doprowadzi do awarii. Awaria zaskakuje dlatego, że nie widzimy, co się dzieje wewnątrz maszyny. Jeżeli awaria jest wynikiem mniej lub bardziej długotrwałych procesów zużycia elementów, to muszą istnieć możliwości przewidywania jej. Pracy maszyny towarzyszą efekty, które nie są związane z pracą produkcyjną, takie jak: grzanie się elementów, drgania mechaniczne i hałas. Drgania wywołane przez maszynę świadczą o procesach współdziała-

nia jej elementów. Parametry tych drgań charakteryzują zarówno ogólne własności maszyn, jak i własności poszczególnych jej elementów. Drgania jako nośnik informacji wyróżniają się dużą pojemnością informacyjną, w odróżnieniu np. od temperatury ścianki maszyny, która z powodu dużej bezwładności cieplnej elementów maszyny jest wielkością jednowymiarową. Ze składowych widma drgań, które są parametrami sygnału, można utworzyć wektor w wielowymiarowej przestrzeni. Drgania towarzyszące współpracy elementów określone są czynnikami pierwotnymi, wtórnymi i ruchowymi.

Jak wspomniano, diagnostyka jest ściśle związana z zagadnieniami niezawodności. Podstawowym osiągnięciem teorii niezawodności jest stwierdzenie, że uszkodzenia maszyny są zdarzeniami losowymi. W teorii niezawodności wykorzystuje się metody weryfikacji hipotez statystycznych, które na podstawie znanych rozkładów prawdopodobieństwa występowania jakiegoś symptomu umożliwiają ocenę wiarygodności przypuszczania, że maszyna znajduje się w określonym stanie technicznym. Wiąże się to jednak z trudnością zdobycia wystarczających danych statystycznych. Wymaga to wielu lat gromadzenia danych, a użytkowanie określonej maszyny przy obecnym postępie technicznym jest stosunkowo krótkie. Diagnostyka techniczna, w przeciwieństwie do teorii niezawodności, przyjmuje założenie, że maszyna jest z urządzeniem zdeterminowanym, to znaczy, że każdemu możliwemu stanowi maszyny odpowiadają dokładnie określone objawy zewnętrzne i przeciwnie, każdemu sygnałowi diagnostycznemu odpowiada w pełni określony stan techniczny maszyny. Diagnostyka techniczna w przedstawionym referacie rozumiana jest jako metoda pomiarowa. Przedmiotem diagnostyki jest pomiar stanu par kinematycznych maszyny lub pomiar ogólnego stanu maszyny, który określa się pośrednio przez pomiar parametrów towarzyszących pracy maszyny. Każda metoda pomiarowa polega na porównaniu ze wzorcem. Role wzorców tworzą klasy odpowiednich parametrów towarzyszących pracy maszyny. Klasy te odpowiadają określonemu stanowi maszyny. W zależności od tego jakie są możliwości rozdzielności klas, taka jest dokładność rozróżniania stanów. Możliwość pomiaru stanu maszyny w danej chwili to jest zasadniczą zaletą metod diagnostycznych, w przeciwieństwie do metod teorii niezawodności, która określić może ten stan tylko z określonym prawdopodobieństwem i na podstawie długich obserwacji wpływu różnych czynników wewnętrznych i zewnętrznych, wpływających na pracę maszyny. Racjonalną metodą określenia stanu technicznego maszyny są metody diagnostyki wibroakustycznej. O możliwościach stosowania metod wibroakustycznych mogą świadczyć między innymi prace wykonywane w IMG: praca [3], dotycząca przyczyn hałasowania silników pneumatycznych stosowanych w górnictwie; praca [4], dotycząca sposobu oceny połączeń wiskowych obręcz - koło bosc w kolejowym zestawie kołowym; praca [5], dotycząca przyczyn wad szlifowanych powierzchni wałów okrętowych; prace [6,7,8,9,10,11], dotyczące koherencyjnej metody diagnostyki maszyn.

2. Podstawy metody wibroakustycznej

Funkcjonowanie maszyny z punktu widzenia diagnostyki maszyn rozpatruje się jako proces kodowania informacji o stanie maszyny. Stan maszyny, zgodnie

Zadanie jest rozwiązalne, jeżeli układ równań (5) może być zapisany w postaci

$$\begin{aligned} x_1 &= G_1(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ x_2 &= G_2(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ x_n &= G_n(s_1, s_2, \dots, s_n) \end{aligned} \quad (6)$$

Ogólnie nie ma podstaw do przyjęcia, że zależności F w (5) są liniowe. Jako przybliżenie, założenie takie jest celowe.

W przypadku liniowości, układ równań (5) można zapisać w postaci

$$\begin{aligned} s_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \\ s_2 &= a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ s_n &= a_{n1} x_1 + a_{n2} x_2 + \dots + a_{nn} x_n \end{aligned} \quad (7)$$

Współczynnik a_{ij} jest wskaźnikiem wrażliwości parametrów sygnałów s_i na zmianę parametru stanu x_j .

Układ równań (5) jest rozwiązywalny ze względu na niewiadome x_i , jeżeli następujący wyznacznik jest różny od zera

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (8)$$

Z punktu widzenia uproszczenia zadania diagnostycznego należy dobrać tak parametry diagnostyczne, aby wyznacznik (8) przyjął postać macierzy diagonalnej

$$\begin{vmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = a_{11} a_{22} \dots a_{nn} \quad (9)$$

Jeżeli wyznacznik przyjmie postać (9), to układ równań (5) sprowadza się do postaci

$$\begin{aligned}
 s_1 &= a_1 x_1 \\
 s_2 &= a_2 x_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 s_n &= a_n x_n
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

przyjmując zapis $a_{11} = a_1$ itd.

Prace prowadzone w Instytucie Mechanizacji Górnictwa zmirzają do sprawdzenia zadania diagnostycznego do postaci (10).

Parametrami s_i sygnału diagnostycznego mogą być składowe estymatorów sygnału zapisane w postaci:

- funkcji gęstości widmowej mocy $W_{SS}(f)$,
 - funkcji wzajemnej gęstości widmowej mocy $W_{S_i S_j}(f)$,
 - funkcji koherencji $\psi_{S_i S_j}(f)$,
 - funkcji autokorelacji $\psi_{SS}(\tau)$,
 - funkcji korelacji wzajemnej $\psi_{S_i S_j}(\tau)$,
 - funkcji kepstrem $C_{SS}(\tau)$,
 - funkcji uzyskanej w wyniku uśredniania synchronicznego $A(\tau)$ a po transformacji Fouriera tej funkcji w postaci widma $W(f)$,
 - funkcji obwiedni sygnałów
- itp.

Estymatory przedstawionych funkcji są funkcjami czasu τ oraz funkcjami częstotliwości f . Należy jednak zaznaczyć różne znaczenia czasu τ dla różnych wymienionych tutaj funkcji. Większość przedstawionych tutaj estymatorów to estymatory dające bezwzględną miarę opisu sygnału i związanej z nią miary stanu, funkcję koherencji można interpretować jako miarę względną. Możliwość i celowość zastosowania względnej miary do oceny stanu wykazano w pracach [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Stosując funkcję koherencji jako podstawę oceny stanu wykazano odpowiednią możliwość podziału parametrów sygnału na klasy oraz odpowiednią rozdzielność klas, która zależna jest od liczby punktów odbioru sygnałów. W pracach [2, 11] wykazano małą rozdzielność klas stanów, stosując estymatory funkcji $W_{SS}(f)$; $\psi_{SS}(\tau)$, $\psi_{S_i S_j}(\tau)$.

3. Podstawy koherencyjnej metody diagnostyki

Z dotychczasowych badań doświadczalnych, prace [8, 9, 10], oraz rozważań teoretycznych, prace [6, 11], wynikają następujące założenia do koherencyjnej metody diagnostyki:

- diagnozowana maszyna w skrajnym dolnym stanie prawidłowym emituje sygnał o charakterze szumu szerokopasmowego - sygnał ten traktowany jest jako zakłócający - nazwano go również różnicującym,
- maszyna przechodzi w sposób ciągły od stanów sprawności do stanów niesprawności, zwiększając moc emitowanego sygnału w częstotliwościach charakterystycznych tworząc sygnał informacyjny, nazwany ujednociającym,
- sygnał szumu szerokopasmowego /sygnał różnicujący/ jest nieskorelowany z sygnałem informacyjnym /sygnał ujednociający/, który generowany jest w pasmach częstotliwości charakterystycznych obok sygnału różnicującego,
- średnia moc sygnałów różnicujących odbieranych z różnych punktów ścianki maszyny jest stała i nie zmienia się w sposób istotny ze zmianami stanu maszyny,
- może występować zmiana postaci drgań obudowy maszyny ze zmianą stanu jej elementów.

Nie istnieje możliwość bezpośredniej oceny sygnału informacyjnego $x(t)$ /ujednociającego/ z sygnału odbieranego ze ścianki maszyny. Nie można również określić sygnału $z(t)$ różnicującego sygnały odbierane z różnych punktów na ściance maszyny. Dokonując pomiaru funkcji koherencji można określić różnicę między sygnałami w postaci procesu różnicującego, który w dalszych rozważaniach oznaczony będzie jako $z(t)$. Sygnały odbierane ze ścianki maszyny w dwóch punktach oznaczone są $s_1(t)$, $s_2(t)$ i składają się one z części skorelowanej procesów, które oznaczono przez $y_1(t)$ i $y_2(t)$ oraz części różnicującej $z(t)$. Sygnały $s_1(t)$, $s_2(t)$ można więc zapisać w postaci

$$\begin{aligned} s_1(t) &= y_1(t), \\ s_2(t) &= y_2(t) + z(t). \end{aligned} \quad (11)$$

Widma sygnałów (11) określone są wzorami /sygnały $y_1(t)$ i $y_2(t)$ są nieskorelowane z $z(t)$ z założenia/

$$\begin{aligned} W_{s_1 s_2}(f) &= W_{y_1 y_2}(f) \\ W_{s_1 s_1}(f) &= W_{y_1 y_1}(f) \\ W_{s_2 s_2}(f) &= W_{y_2 y_2}(f) + W_{zz}(f). \end{aligned} \quad (12)$$

Podstawiając (12) do wzoru na kwadrat funkcji koherencji zwyczajnej, zdefiniowanej w pracy [12], można napisać

$$\gamma_{s_1 s_2}^2(f) = \frac{|W_{s_1 s_2}(f)|^2}{W_{s_1 s_1}(f) W_{s_2 s_2}(f)} = \frac{|W_{y_1 y_2}(f)|^2}{W_{y_1 y_1}(f) [W_{y_2 y_2}(f) + W_{zz}(f)]} \quad (13)$$

$$\text{gdzie } W_{zz}(f) = 0 \quad \text{to } \gamma_{s_1 s_2}^2(f) = 1$$

ponieważ

$$|W_{y_1 y_2}(f)|^2 = W_{y_1 y_1}(f) W_{y_2 y_2}(f), \text{ gdy sygnały } y_1(t) \quad (14)$$

i $y_2(t)$ są skorelowane

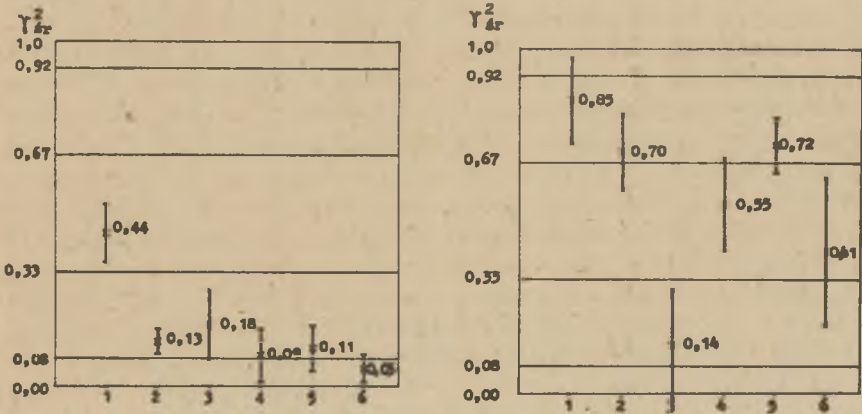
oraz gdy

$$W_{y_1 y_2}(f) = 0 \quad \text{to} \quad \gamma_{s_1 s_2}^2(f) = 0$$

$$W_{zz}(f) > 0 \quad \text{to} \quad 0 < \gamma_{s_1 s_2}^2(f) < 1.$$

Zależności (14) obrazują jak mogą się zmieniać wartości $\gamma_{s_1 s_2}^2(f)$ ze zmianami stanu maszyny.

Udział procesu różnicującego dwa procesy odbierane w postaci sygnałów ze ścianki jest tym większy, im bardziej prawidłowy jest stan maszyny. Odwrotnie przy stanach maszyny, które uznaje się jako nieprawidłowe, udział procesu różnicującego jest tym mniejszy, im bardziej nieprawidłowy jest stan maszyny. Zakres stanów może się zmieniać od 0 - 1. Ponieważ pomiarów wartości $\gamma_{s_1 s_2}^2(f)$ dokonuje się z zastosowaniem analizatorów pasmowych [1] o skończonej szerokości pasma Δf , składową funkcji koherencji należy zapisać w postaci $\gamma_{s_1 s_2}^2(f, \Delta f)$.



Rys.1. Składowe wektora stanu zazębienia oraz granice ich zmienności, przy poziomie ufności 0,90.

- a/ składowe wektora stanu dla kół z optymalną modyfikacją b/ składowe wektora stanu dla kół zużytych wgłębieniami zmęczeniowymi

W pracach [10, 11] wykazano, że udział procesu różnicującego $W_{zz}(f, \Delta f)$ zależny jest od miejsca odbioru sygnałów diagnostycznych ze ścianki maszyny i ma losowy charakter. W celu estymacji parametrów sygnału diagnostycznego należy dysponować danymi, które otrzymano z kilku punktów odbioru sygnału diagnostycznego. Jako estymatora wartości parametrów sygnału wyjściowego przyjęto wartość średnią z otrzymanych wyników pomiarów składo-

wych $\gamma^2(f_i, \Delta f)$, gdzie f_i - składowe charakterystyczne funkcji koherencji niosące istotne informacje o stanie maszyny. Wektor sygnału wyjściowego można zapisać w postaci:

$$[\gamma^2(f_1, \Delta f)]_{\text{śr}}; [\gamma^2(f_2, \Delta f)]_{\text{śr}}; \dots; [\gamma^2(f_i, \Delta f)]_{\text{śr}}; \dots; [\gamma^2(f_n, \Delta f)]_{\text{śr}} \quad (15)$$

Znalezienie parametrów sygnału wyjściowego polega na oszacowaniu wartości średniej oraz przedziału zmienności średniej przy poziomie ufności $1 - \alpha$.

4. Przykład zastosowania koherencyjnej metody diagnostyki maszyn do oceny stanu zazębienia

W wyniku opracowania statystycznego danych z badań przyjęto granicę klas, co zilustrowano w pracy [11]. Linie pochodziły z pomiarów, w których odbierano sygnały z czterech punktów pomiarowych. Daje to sześć wartości mierzonych kwadratów składowych funkcji koherencji w danym paśmie o częstotliwościach środkowych f_i . W wyniku badań statystycznych uzyskano następujące granice klas zakresów zmienności $\gamma^2_{\text{śr}}$; I klasa $0,00 \pm 0,08$; II klasa $0,08 \pm 0,33$; III klasa $0,33 \pm 0,67$; IV klasa $0,67 \pm 0,92$; V klasa $0,92 - 1$. Diagnostowano stan zazębienia przekładni zębatej, dla której częstotliwość zazębienia i jej harmoniczne wynoszą $900, 1800 \pm 5400 \text{ Hz}$. Podstawą oceny stanu zazębienia jest sześć składowych harmonicznych. Na rys. 1 a i b przedstawiono składowe $\gamma^2(f_i, \Delta f)$ wektora stanu na tle klas. Podano wartość średnią parametru oraz granice zmienności średniej, przy poziomie ufności 0,90. Oznaczenia 1-6 na rysunkach, podają nr kolejny harmonicznej $1 \sim 900 \text{ Hz}$.

Rys. 1a przedstawia parametry wektora stanu zazębienia dla pary kół zębatych, z których jedno miało odpowiednią modyfikowaną linię ewolwenty, zgodnie z zaleceniami pracy [15]. Parametry koła odpowiadają kołu modyfikowanemu o optymalnej modyfikacji. Rys. 1b przedstawia parametry stanu kół zużytych wgłębieniami zmęczeniowymi /pittingiem/. Dalsze przykłady związków między parametrami stanu oraz parametrami sygnału diagnostycznego dla zazębienia zostaną przedstawione w czasie prezentowania referatu.

5. Przykład zastosowania wibroakustycznej metody do określania przyczyn nierównomierności biegu przekładni zębatej maszyny wyciągowej

W czasie pracy maszyny wyciągowej można było odebrać wrażenie słuchowe nierównomiernego biegu napędowej przekładni zębatej. Nierównomierność biegu powinna odpowiadać określona nieprawidłowość, która powstała w wyniku długotrwałej pracy maszyny. Nadmierny wzrost tej przyczyny może spowodować awarię. Dla określenia w sposób obiektywny przyczyny tej nierównomierności zastosowano metodę diagnostyczną, w której nośnikiem informacji są drgania. Wychoząc z założenia, że drgania mechaniczne dowolnego punktu obudowy maszyny /przekładni zębatej/ przekazują informacje o stanie przekładni zębatej umocowano na obudowie przetwornik piezoelektryczny. Sygnał mechaniczny, przetwarzany przez przetwornik na sygnał elektryczny, proporcjonalny do chwilowych przyspieszeń drgań przekazywany był do aparatury analizującej.

Wychodząc z podstawowych zależności kinematycznych przekładni określono częstotliwości charakterystyczne ząbienia. Analiza widmowa wykazała wyraźne występowanie składowej ząbienia pierwszego stopnia przekładni o częstotliwości 404 Hz . Ponieważ nierównomierność pracy przekładni zębatej należy wiązać z małymi częstotliwościami odpowiadającymi częstotliwościom obrotów wałów, to częstotliwości te będą modulowały sygnał o częstotliwości 404 Hz przyjęty jako nośny. Aby określić, która ze składowych odpowiadających częstotliwości obrotów wału powoduje w istotny sposób modulację częstotliwości 404 Hz , sygnał drganiowy poddano analizie wg następującej procedury: filtrowano go w paśmie 404 Hz za pomocą analizatora Briiel - Kjeur 2107, przy 6 % selektywności, po filtrowaniu sygnał z tego pasma przechodził na rejestrator, na którym rejestrowano zmiany poziomu w czasie wywołana modulacją sygnału nośnego. Zmiany poziomu sygnału nośnego w czasie rejestrowano przy dwóch kierunkach pracy maszyny. Przy jednym z kierunków pracy maszyny zauważono okresowe regularne zmiany poziomu sygnału nośnego, spowodowane modulacją. Wyznaczono częstotliwość tych zmian poziomu, która odpowiadała częstotliwości obrotów wału przekładni napędzającego koła napędowe maszyny wyciągowej. W celu określenia przyczyny nieprawidłowej pracy wału przeprowadzono analizę zwrotów działania obwodowej siły międzyzębnej w zależności od kierunku obrotów koła napędowego maszyny wyciągowej. Przy kierunku obrotów wału, przy którym występuje modulacja sygnału, obwodowa siła międzyzębna powoduje podnoszenie wału napędzającego koła napędowe. Siła ta działa przeciwnie do siły ciężkości i przy nadmiernym luzie w łożyskach ślizgowych wału może powodować nieprawidłową jego pracę. Pomiar luzu w łożyskach ślizgowych tego wału wykazał luz większy od górnego dopuszczalnego luzu granicznego, dla tego typu łożyska ślizgowe. W ten sposób znaleziono przyczynę nierównomiernego biegu przekładni napędzającej maszynę wyciągową.

6. Wnioski

Metody diagnostyczne można stosować do wykrywania przyczyn nieprawidłowej pracy maszyn w ekspertyzach mających na celu wykrycie nieprawidłowości ich pracy w celu zapobiegania awariom. W takim przypadku zastosowanie metody można traktować jako sztukę wykrywania przyczyn nieprawidłowości pracy maszyn. Przykład zastosowania w ten sposób diagnostyki wibroakustycznej ilustruje punkt 6 referatu. Postępowanie opisane w punkcie 6 jest zasadniczym postępowaniem w stosunku do sposobów stosowanych w większości przypadków przy ekspertyzach, a które oparte są na intuicji. Należy podkreślić, że obiektywne oceny stanu maszyn, z wykorzystaniem metody wibroakustycznej, są obecnie mało stosowane w badaniach maszyn górniczych.

Metody wibroakustyczne można również stosować do określania stanu technicznego seryjnie produkowanych maszyn czy podzespołów maszyn, np. przekładni zębatych. W tym przypadku należy zastosować specjalnie opracowane metody. Przykładem takim jest zaproponowana koherencyjna metoda diagnostyczna. Należy w takim przypadku określić klasy stanów i związek między stanem ele-

mentów a klasami. Należy zapewnić odpowiednią rozdzielność klas a tym samym odpowiednią dokładność określenia stanu. Należy zaznaczyć, że dokładność określania zastosowanego parametru sygnału różni się od dokładności wyznaczania stanów.

LITERATURA

- [1] W. Bartelmus, A. Studziński: Koherencja sygnałów diagnostycznych w przekładniach zębatych. Przegląd Mechaniczny, nr 23/1975, ss. 753 - 756.
- [2] W. Bartelmus, A. Studziński: Analiza częstotliwościowa w diagnostyce drganiowej maszyn. Przegląd Mechaniczny nr 1/1977, ss. 9 - 12.
- [3] W. Bartelmus: Przyczyny hałasów zębatych silników pneumatycznych. Archiwum Akustyki, nr 4/1975, ss. 383 - 390.
- [4] W. Bartelmus: Diagnostyka akustyczna połączeń wiskowych. Archiwum Akustyki, nr 4/1975, ss. 357 - 372.
- [5] W. Bartelmus, A. Studziński: Diagnostyczne określenie przyczyn wad szlifowanych powierzchni wałów. Mechanik nr 1/1977, ss. 15 - 17.
- [6] W. Bartelmus: Przetwarzanie informacji o stanie maszyny w koherencyjnej metodzie diagnostyki maszyn III Symposium Diagnostyki Maszyn, Szczyrk 1977, ss. 58 - 64.
- [7] W. Bartelmus, A. Studziński: Porównywanie stanów w wibroakustycznej metodzie diagnozowania maszyn. Materiały XXV Seminarium z Akustyki. Poznań - Błażejewko 1978, ss. 67 - 70.
- [8] W. Bartelmus: Koherencyjna metoda diagnostyki wibroakustycznej maszyn. Prace XXIV Otwartego Seminarium z Akustyki, Gdańsk - Władysławowo 1977, ss. 605 - 608.
- [9] W. Bartelmus: Koherencyjna metoda diagnostyki drganiowej maszyn. Materiały na Szkołę Zimową - 78 Diagnostyka niezawodnościowa systemów technicznych. OPT, Katowice 1978, ss. 155 - 164.
- [10] W. Bartelmus: A comparison of the coherence method with the spectral method of diagnosing machines by means of thier vibrations. Materiały uzupełniające X Konferencji Dynamika Maszyn, Warszawa 1977, Pol. Warszawska.
- [11] W. Bartelmus: Zastosowanie niektórych estymatorów statystycznych sygnału drganiowego jako kryteriów oceny stanu maszyny. Gliwice 1978, IMG, /nie publikowana/.
- [12] J.S. Bendat, A.G. Piersol: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
- [13] B.W. Pawłow: Badania diagnostyczne w technice. WNT, Warszawa 1967.
- [14] B.W. Pawłow: Diagnostyka niedomagań maszyn. PWRiL, Warszawa 1975.
- [15] J.H. Yebra: Analiza wpływu parametrów konstrukcyjnych na dynamikę zazębienia. Politechnika Śląska, /praca doktorska/ 1975.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН.

Резюме.

В статье определяется значение диагностики машин. Общие основы виброакустического диагностического метода. Основы когерентного метода диагностики машин. Пример применения когерентного диагностического метода для оценки состояния зубчатого зацепления. Пример применения виброакустического метода для определения причин неравномерного хода зубчатой передачи подъемной машины.

ACOUSTIC AND VIBRATORY METHOD RELIABILITY
ESTIMATION OF MINING MACHINES

Summary

The paper deals with aim of diagnoses and fundamentals of them. A new method of diagnosing machines is presented. New method is called a coherence method. Examples of gear states diagnosing by this new method are presented both with an example of vibratory method utilization to determine reasons of unsteady operating of a hoist drive gear.