

54

OCENA STANU TECHNICZNEGO MASZYN GÓRNICZYCH W OPARCIU O KRYTERIUM ROZKŁADU WEIBULLA

54.1 WSTĘP

W eksploatacji maszyn i urządzeń jedną z najważniejszych informacji eksploatacyjnych jest stan dynamiczny obiektu. Najbardziej popularną metodą oceny stanu dynamicznego jest obserwacja procesów resztkowych [1]. W szczególności dynamiczne procesy resztkowe są nośnikiem informacji diagnostycznej. Pomiar drgań i hałasu pracujących maszyn dostarcza wiedzy na temat dynamiki ocenianej maszyny. Umożliwia przeprowadzenie diagnozy czyli ocenę dynamicznego stanu aktualnego, genezy czyli przyczyn istniejącego stanu a także na podstawie doświadczenia i wiedzy pozwala na przeprowadzenie prognozy czyli ocenę ewaluacji aktualnego stanu dynamicznego. Wieloletnia wiedza i doświadczenie pozwoliły na stworzenie procedur diagnostycznych. W większości maszyn stosowanych w przemyśle procedury zapisane w normach ISO 10816 i ISO 7919 pozwalają na skuteczną diagnostykę oraz optymalne zarządzanie eksploatacją maszyn. Stosowalność tych norm jest bardzo duża, jednak występują maszyny, których parametry uniemożliwiają ich stosowalność. Do takich maszyn można zaliczyć niektóre maszyny stosowane w górnictwie podziemnym. W ocenie diagnostycznej kombajnów górniczych, przenośników zgrzebłowych, jak i innych maszyn będących w ciągu technologicznym zastosowanie stref oceny zgodnych z normami ISO 10816 i ISO 7919 jest niepoprawna. Wykonywanie pomiarów diagnostycznych dla tego typu maszyn, będących w biegu jałowym nie uwidacznia stanów awaryjnych. Spowodowane to jest posadowieniem maszyny, które się zmienia, otoczeniem technologicznym oraz szeregiem innych czynników występujących w warunkach dołowych. Obciążenie tych maszyn może nastąpić tylko procesem technologicznym. Proces ten jednak charakteryzuje się dużą dynamiką oraz znaczną niestacjonarnością. Analizując wartość średniokwadratową prędkości drgań wyniki są znacznie wyższe niż przedziały wskazywane w przytaczanych normach. Znaczna rozbieżność wyników występuje również pomiędzy różnymi maszynami. Związane jest to z zastosowanymi rozwiązaniami technicznymi układów napędowych maszyn. W ocenie diagnostycznej tego typu maszyn najczęściej korzysta się z analizy trendów długoczasowych. Podejście

to wymaga regularnych pomiarów drgań maszyny, w ściśle określonych punktach pomiarowych oraz warunkach eksploatacyjnych [2]. Skuteczne prognozy ostrzegawcze uzyskiwane są na drodze heurystycznej poprzez obserwacje rozwoju uszkodzenia do stanu awaryjnego. Chcąc obniżyć koszty eksploatacyjne, należy wykluczyć stany awaryjne. Wykryciu powinny podlegać stany przedawaryjne pozwalające na planowe wyłączenie z ruchu maszyny i przeprowadzenie niezbędnych prac remontowych. Obserwując stan dynamiczny od początku eksploatacji poprzez kilka cykli remontowych możliwe jest określenie granicznych poziomów drgań, wskazujących stan przedawaryjny [3]. Takie podejście daje dobre wyniki po kilku latach obserwacji i analizy wyników.

54.2 ROZKŁAD WEIBULLA W OCENIE NIEZAWODNOŚCI MASZYN

Dla maszyn wchodzących do ruchu, dla których jest nieznana historia, metoda analizy trendów długoczasowych nie jest możliwa do zastosowania. W takich przypadkach można skorzystać z modelu rozwoju uszkodzenia. Prosty model pozwalający na opisanie podstawowych zjawisk związanych z rozwojem uszkodzenia, awaryjnością i niezawodnością systemów technicznych jest rozkład wykładniczy.

Rozkład ten został wykorzystany w normie „Nieawodność w technice” PN-77/N-04021. W normie tej wskazano plan badania obiektu. W modelowych badaniach, obiekt obserwowany jest w całym czasie życia technicznego. W rzeczywistych badaniach podejście to jest zbyt czasochłonne. Zastosowanie normy PN-77/N-04021 pozwala na skrócenie czasu badań do nawet 1% czasu poprawnej pracy. Wymaga jednak odpowiedniej mnogości badanych obiektów. Działania te są uzasadnione przy założeniu rozkładu wykładniczego czasu życia obiektu. Praktyka wskazuje jednak pewne odstępstwa: dla nowych obiektów obserwowana jest większa awaryjność – awaryjność oraz w końcowej fazie życia obiektu obserwowana jest również większa awaryjność – awaryjność. Zjawiska te zostały opisane „wannową” krzywą życia maszyny, krzywą ryzyka. Uogólnieniem rozkładu wykładniczego, uwzględniającym początek eksploatacji oraz okres końcowy jest rozkład Weibulla.

W ocenie niezawodności maszyn uznanym modelem statystycznym jest rozkład Weibulla. Rozkład wykładniczy modeluje niezawodność o stałej intensywności uszkodzeń. Ogólniejszy model w 1951 roku zaproponował W. Weibull analizując trwałość wyrobów [4]. Dyskretnym odpowiednikiem rozkładu wykładniczego jest rozkład geometryczny. Rozkład Weibulla jest uogólnieniem rozkładu wykładniczego. Stosowalność tego rozkładu obejmuje zjawiska, gdy intensywność uszkodzeń jest zmienną o przebiegu monotonicznym. Rozkładem tym opisuje się między innymi trwałość zmęczeniową materiałów i konstrukcji mechanicznych. Intensywność uszkodzeń określa wzór:

$$\lambda(t) = \alpha\beta t^{(\alpha-1)} \quad (54.1)$$

gdzie:

$\alpha, \beta > 0 = \text{const}$ – liczby stałe

α – parametr kształtu

β – parametr skali

W zależności od parametrów kształtu (α) i skali (β) pozwala na odniesienie się do krzywej życia maszyny czy krzywej ryzyka. Krzywa ta opisuje intensywność uszkodzeń lub ryzyko awarii w funkcji czasu. Intensywność drgań jest związana z intensywnością uszkodzeń i pozwala na odniesienie do krzywej życia maszyny intensywności drgań w funkcji czasu eksploatacji. Używana często w praktyce krzywa życia maszyny opisuje wartość średniokwadratową drgań w funkcji czasu eksploatacji. Jest ona podobna do funkcji prawdopodobieństwa uszkodzenia maszyny. W pierwszym okresie eksploatacji zwiększa się intensywność drgań. Zjawisko to związane jest z docieraniem się pracujących elementów, stabilizowaniem błędów montażowych oraz procesami adaptacji maszyny do warunków pracy. W tym okresie ryzyko wystąpienia awarii jest podwyższone i maleje w funkcji czasu a parametr kształtu rozkładu Weibulla jest mniejszy od 1 ($\alpha < 1$). Środkowy okres, zwany okresem normalnej eksploatacji charakteryzuje się powolnym wzrostem intensywności drgań. W okresie tym ryzyko awarii również powoli rośnie a w rozkładzie Weibulla parametr kształtu w przybliżeniu równy jest jedności. W stanie przedawaryjnym, intensywność drgań oraz prawdopodobieństwo uszkodzenia gwałtownie rośnie w czasie, w rozkładzie Weibulla parametr kształtu jest znacznie większy od jedności.

funkcję niezawodności

$$R(t) = e^{(-\beta t^\alpha)}, t \geq 0 \quad (54.2)$$

funkcję zawodności (dystrybuantę)

$$Q(t) = F(t) = 1 - e^{(-\beta t^\alpha)} \quad (54.3)$$

funkcję gęstości prawdopodobieństwa

$$f(t) = \alpha \beta t^{(\alpha-1)} e^{(-\beta t^\alpha)} \quad (54.4)$$

Analiza funkcji gęstość prawdopodobieństwa $f(t)$ wskazuje że dla parametry kształtu $\alpha = 1$ otrzymamy rozkład wykładniczy, natomiast dla parametru $\alpha > 1$ rozkład ten będzie rozkładem normalnym Gaussa. Korzystając z zasady wzajemności można wskazać że jeśli estymowany rozkład prawdopodobieństwa awarii jest rozkładem wykładniczym obiekt jest w stanie normalnej eksploatacji. Prawdopodobieństwo awarii wzrasta wraz z czasem użytkowania. Natomiast jeśli estymowany rozkład prawdopodobieństwa awarii posiada charakter rozkładu normalnego wskazuje to na stan przedawaryjny, w którym prawdopodobieństwo uszkodzenia będzie gwałtownie wzrastać w czasie eksploatacji.

Dla obiektów mnogich, dla których stan przyjmuje dwie wartości dobry lub zły, opisane powyżej zasady pozwalają na ocenę ich niezawodności w określonych warunkach. Prowadzone badania nad łożyskami tocznymi pokazały że w określonych warunkach eksploatacyjnych prawdopodobieństwo uszkodzenia jest proporcjonalne do czasu pracy. Jak czas eksploatacji zbliża się to trwałości nominalnej, awaryjność łożysk wykazuje rozkład normalny, z wartością oczekiwaną jako trwałość nominalna [5]. Badania te wykazały również bardzo istotne powiązanie niezawodności łożysk z parametrami sygnału drganiowego, szczególnie wartością skuteczną prędkości drgań,

w określonych pasmach częstotliwościowych. Korelacja ta została wykorzystana do opracowania norm dotyczących dopuszczalnych drgań w łożyskach tocznych.

Zjawisko korelacji poziomu drgań z prawdopodobieństwem awarii jest znane, a najprostszym modelem opisującym wpływ drgań na stan techniczny maszyny jest model dyssypacji energii [6]. W modelu tym resztkowe zjawiska dynamiczne wpływają na obiekt, wprowadzając destrukcyjną energię. Energia ta kumulując się w obiekcie w postaci zmian zmęzeniowych, degradacji chemicznej, termicznej lub innej powoduje zintensyfikowanie procesów resztkowych. Zatem dynamiczne procesy resztkowe w postaci drgań jak również quasistatyczne takie jak gradienty temperatury będą opisywały stan dynamiczny obiektu oraz będą skorelowane z funkcją niezawodności tego obiektu. Zależność ta potwierdzona została obszernymi badaniami takich systemów jak napędowe turbiny gazowe [7], badaniami przekładni zębatych [8], oraz wiele innych.

Zakładając korelację energii drgań z niezawodnością złożonych obiektów, w których dominujące zjawiska destrukcyjne związane są ze zmęczeniem materiałowym, gęstość prawdopodobieństwa awarii będzie proporcjonalna do intensywności drgań.

54.3 MODEL NUMERYCZNY

Założenie korelacji poziomu drgań z funkcją niezawodności, prowadzi do wniosku, że w trakcie eksploatacji urządzenia, estymowany rozkład energii drgań w czasie może być również opisany rozkładem Weibulla. Zatem parametr α będzie wskazywał stan urządzenia, jak ma to miejsce w analizie niezawodności. Dla $\alpha < 1$, układ będzie znajdował się w stanie rozruchowym, dla $1 < \alpha < 2$ będzie to stan normalnej eksploatacji, natomiast dla $\alpha > 2$ będzie można wskazać stan przedawaryjny.

Powyższa metodyka charakteryzuje się brakiem korelacji z czasem eksploatacji. Jest to cecha rozkładu Weibulla, w związku z tym możliwa jest obserwacja dowolnego odcinka czasowego wynikającego z obserwacji obiektu.

Weryfikacją powyższych założeń będzie analiza numeryczna wykorzystująca model energetyczny maszyny. Założmy czas obserwacji $T = 1500$ jednostek. W okresie $t(0, 100)$ następuje docieranie maszyny, natomiast w okresie końcowym maszyna osiągnie stan przedawaryjny. Wygenerowano zatem sygnał określony zależnością:

$$x(t) = \left(A \cdot t \cdot \frac{t^\gamma}{T^\gamma} + B \right)^{A \cdot \frac{t^\gamma}{T^\gamma} - 1} \quad (54.5)$$

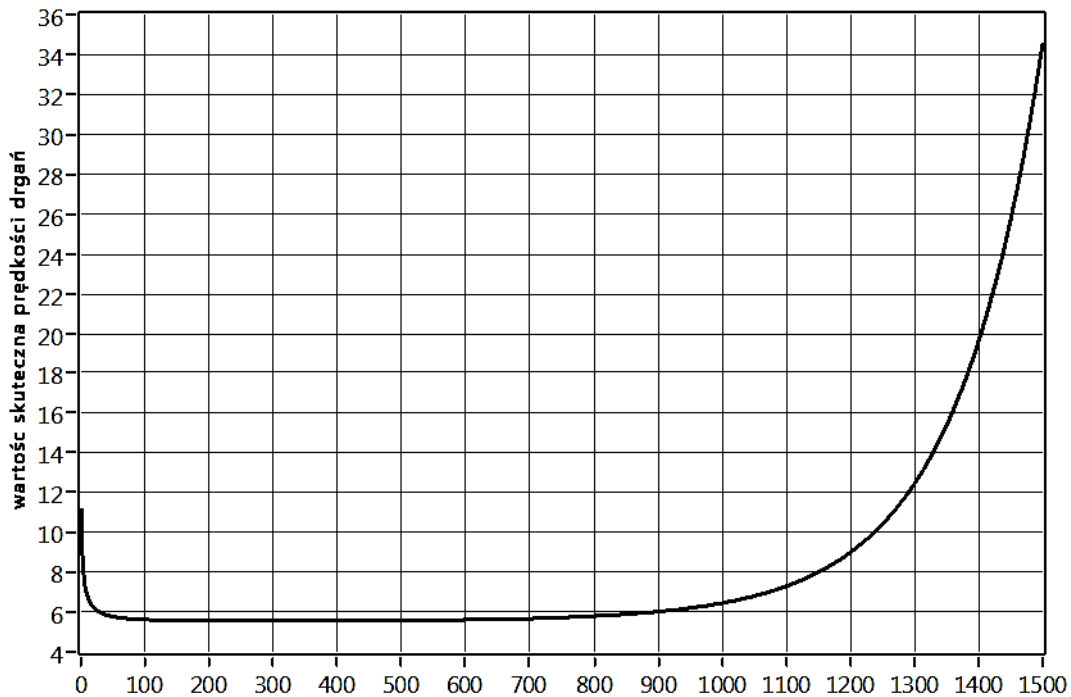
gdzie:

$x(t)$ – Wartość średniokwadratowa poziomu drgań

T – Czas obserwacji

A, B, γ – parametry

Przebieg funkcji zamieszczono na rysunku 54.1. W początkowym czasie następuje spadek poziomu drgań. Po ustabilizowaniu się poziomu, w trakcie normalnej eksploatacji następuje powolny wzrost poziomu, do momentu wystąpienia stanu przedawaryjnego. W stanie przedawaryjnym mamy do czynienia z dynamicznym wzrostem poziomu drgań.



Rys. 54.1 Symulowany przebieg wartości skutecznej prędkości drgań w czasie pełnego cyklu eksploatacyjnego

Dla wybranego zakresu obserwacji τ , przeprowadzono dwutorową aproksymację funkcji $x(t)$. Aproksymacja przeprowadzona została funkcją Gaussa oraz wykładniczą. Aproksymacja funkcją wykładniczą została zrealizowana interakcyjną metodą najmniejszych kwadratów z wykorzystaniem metody Levenberg-Marquardt [2]. Poszukiwana jest najlepiej dopasowana do danych funkcja wykładnicza, o postaci:

$$f = ax^b + c \quad (54.6)$$

gdzie:

x – jest sekwencją wejściowych X ,

a – amplitudą,

b – wykładnik,

c – przesunięcie.

Zastosowany algorytm wyznacza funkcję

$$y[i] = a(x[i])^b + c \quad (54.7)$$

Dążąc do minimalizacji sumy kwadratów różnic pomiędzy danymi z obserwacji a poszukiwaną funkcją.

Aproksymacja funkcja Gaussa również została zrealizowana interakcyjną metodą najmniejszych kwadratów z wykorzystaniem metody Levenberg-Marquardt. Algorytm ten dopasowuje dane do krzywej Gaussa według równania:

$$f = A \cdot e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot C \quad (54.8)$$

gdzie:

x – jest sekwencją wejściową danych X ,

A – amplituda,

μ – wartość oczekiwana,
 σ – odchylenie standardowe,
 c – przesunięcie.

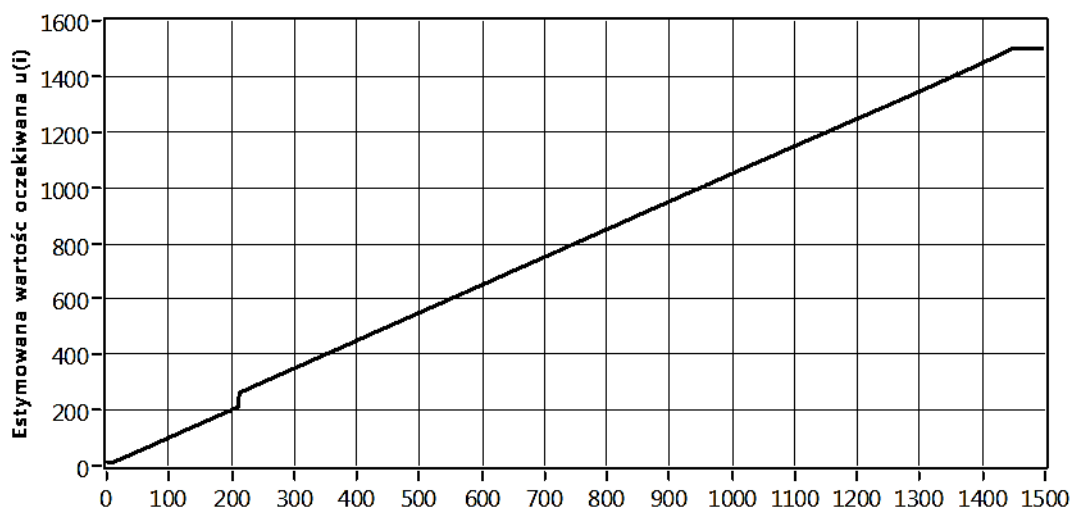
Algorytm ten wyznacza wartości a , μ , oraz c , które najlepiej pasują do obserwacji (x, y) . Równanie krzywej Gaussa opisuje wynikające z algorytmu funkcja Gaussa:

$$Y[i] = A \cdot e^{\left(-\frac{(x[i]-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot C \quad (54.9)$$

54.5 ANALIZA WYNIKÓW SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Zatem dla funkcji $x(t)$, opisującej obserwacje wartości skutecznej drgań maszyny w czasie $t = (0, T)$ wybieramy obserwacje $\tau(t_N)$, będącą pewnym przedziałem funkcji $x(t)$. Na podstawie tej obserwacji można estymować stan techniczny obiektu poprzez zbadanie aproksymującej funkcji Gaussa oraz aproksymującej funkcji wykładniczej. Przeprowadzony eksperyment numeryczny polega na przesunięciu wzdłuż funkcji $x(t)$, prostokątnego okna obserwacji o długości N . Otrzymujemy rodzinę funkcji $\tau_i(t_N)$ gdzie $i = (0; T-N)$, $t_N = (t_i; t_{i+N})$. Dla każdego z otrzymanych odcinków przeprowadzono aproksymację funkcji Gaussa, otrzymując A_i , μ_i oraz C_i . Najbardziej interesujący wynik związany jest z wartością oczekiwaną μ_i . Wartość ta jest wprost proporcjonalna do czasu eksploatacji urządzenia, przy założeniu zjawisk zmęzeniowych, jako głównych czynników destrukcyjnych. Dla sygnału symulowanego funkcja (5) i jego przebiegu (rys. 54.1, otrzymano funkcje $\mu_i(i)$ jak na rysunku 54.2.

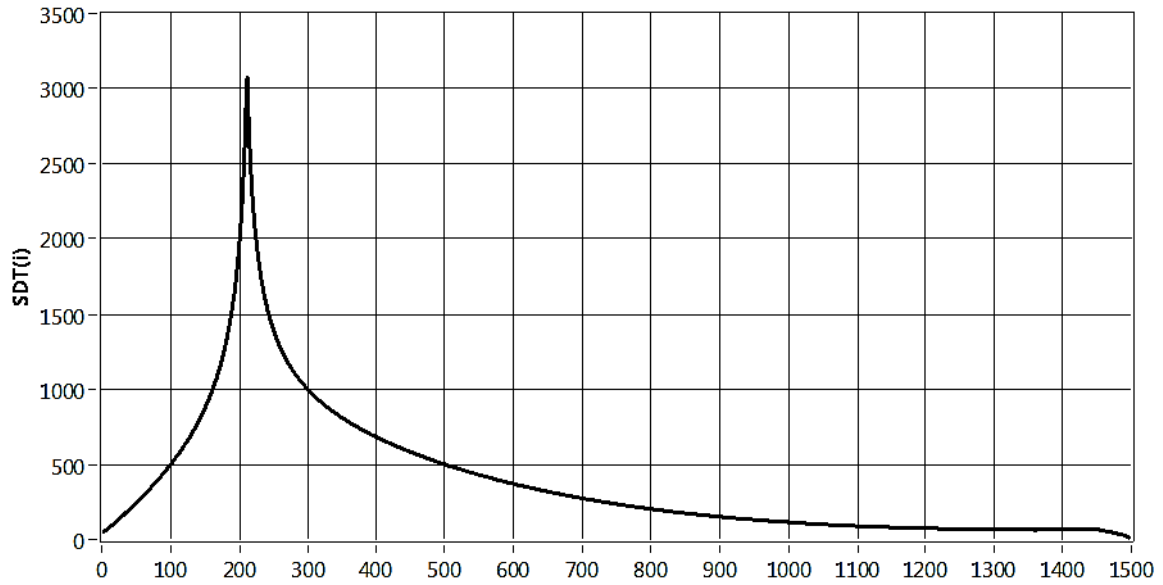
XY Graph



Rys. 54.2 Wartość oczekiwana dla aproksymującej funkcji Gaussa N=50

Również ciekawy ma przebieg odchylenia standardowego w funkcji i (rys. 54.3). Do pewnego momentu wartość ta wzrasta a po przekroczeniu pewnego czasu i wartość ta zaczyna spadać. Z analizy funkcji (1) jest to moment zakończenia okresu docierania i przejście w stan normalnej eksploatacji

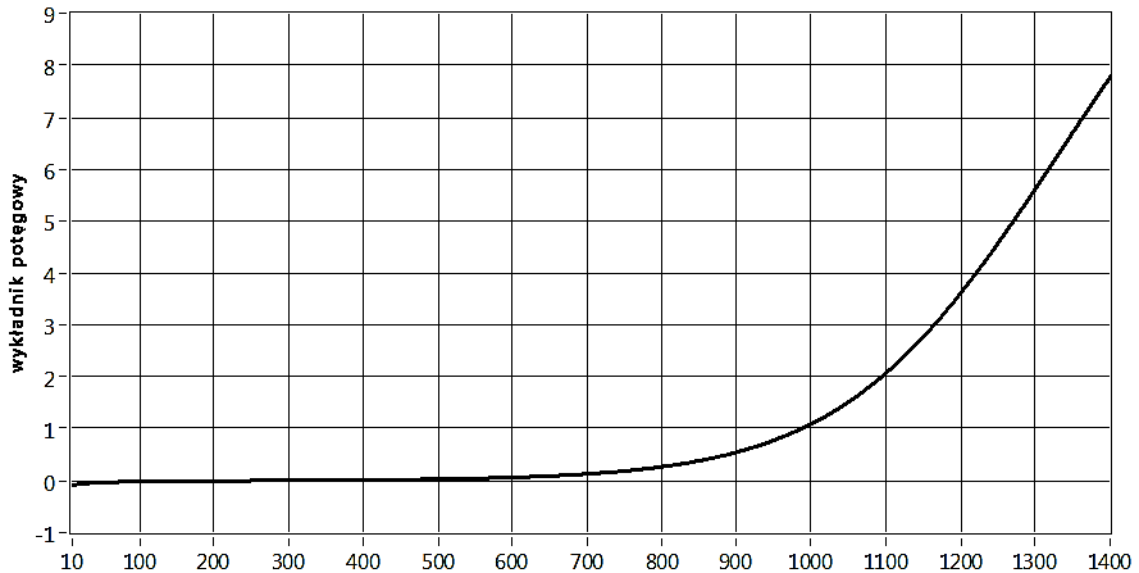
XY Graph



Rys. 54.3 Odchylenie standardowe dla aproksymującej funkcji Gaussa N=50

Dla aproksymacji funkcją wykładniczą, wykładnik potęgowy b (6) również może być wskaźnikiem stanu maszyny. Dla prawidłowego stanu eksploatacyjnego jest bliski zeru. Gdy ten stan się pogarsza, wskaźnik b zaczyna rosnąć (rys. 54.4).

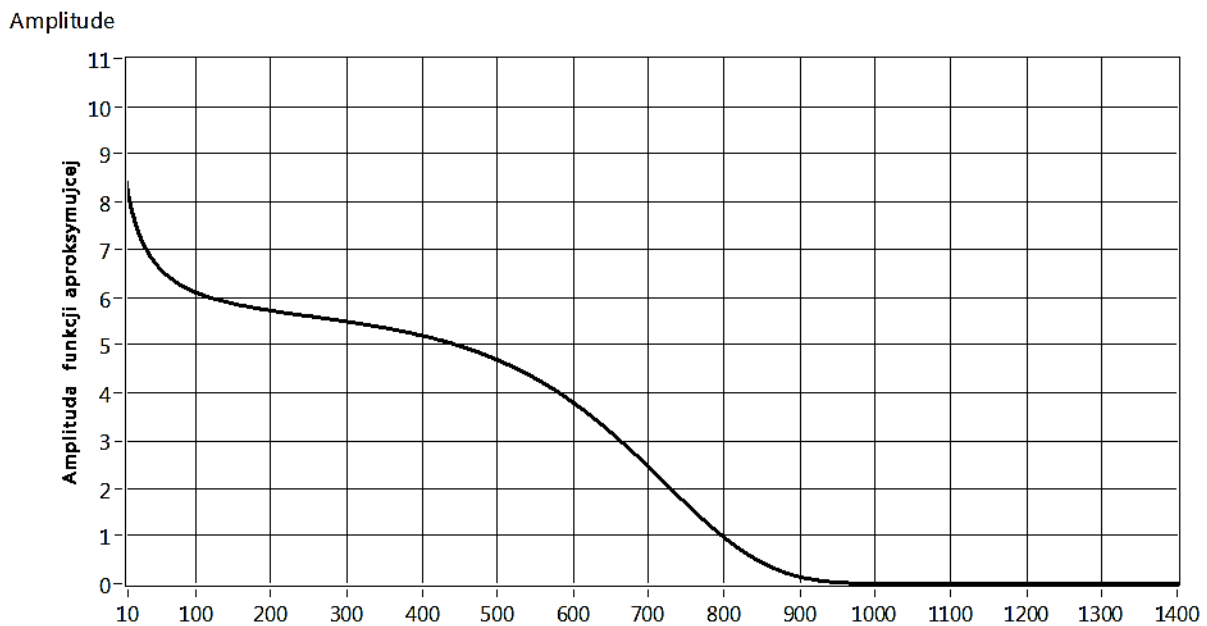
Damping



Rys. 54.4 Wykładnik potęgowy aproksymującej funkcji wykładniczej N = 50

Szczególne przydatność tego wskaźnika zawarta jest w jego dynamice. Nachylenie tej krzywej wzrasta w funkcji degradacji urządzenia. Z zależności (54.1) wynika istotny wniosek że dla $b > 2$ można wskazywać na stan przedawaryjny. W zaprezentowanym przypadku dla czasu $t = 1100$ układ przechodzi w stan przedawaryjny, w którym następuje istotny wzrost dynamiki poziomu drgań a tym samym obniżenie niezawodności. Analiza amplitudy aproksymującej (rys. 54.5) funkcji wykładniczej

przedstawia pewną informację diagnostyczną, jednakże dalsze badania wykazały brak jej przydatności.



Rys. 54.5 Przebieg amplitudy wykładniczej funkcji aproksymującej

Zaprezentowane wybrane parametry statystyczne oparte zostały o reprezentacyjny sygnał syntetyczny. W praktyce pomiary poziomu drgań obarczone są znacznym rozrzutem. Można to zjawisko zamodelować poprzez uwzględnienie w równaniu (54.5) funkcji zakłócającej:

$$x(t) = \left(A \cdot t \cdot \frac{t^\gamma}{T^\gamma} + B \right)^{A \frac{t^\gamma}{T^\gamma} - 1} + \varepsilon(t) \quad (54.10)$$

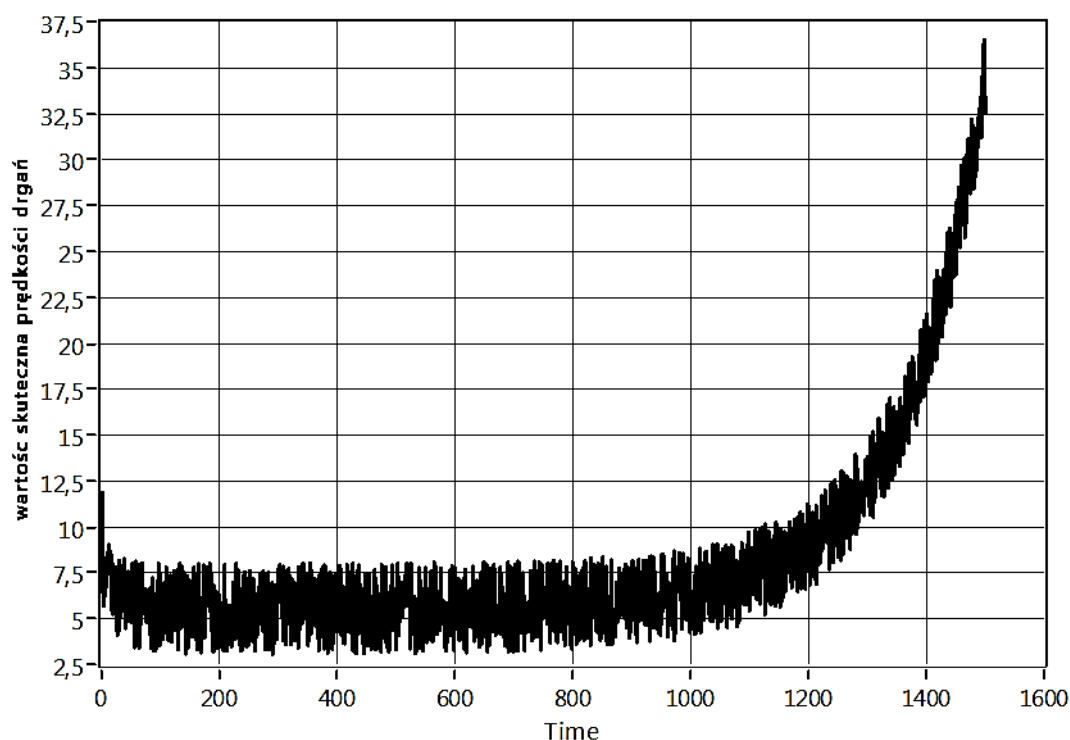
gdzie:

$\varepsilon(t)$ jest sygnałem zakłócającym.

Wygenerowano syntetyczny sygnał analogicznie do rys. 54.1, z uwzględnieniem sygnału zakłócającego o rozkładzie równomiernym i amplitudzie $A_{p-p} = 5$. Symulowany przebieg zaprezentowano poniżej (rys. 54.6).

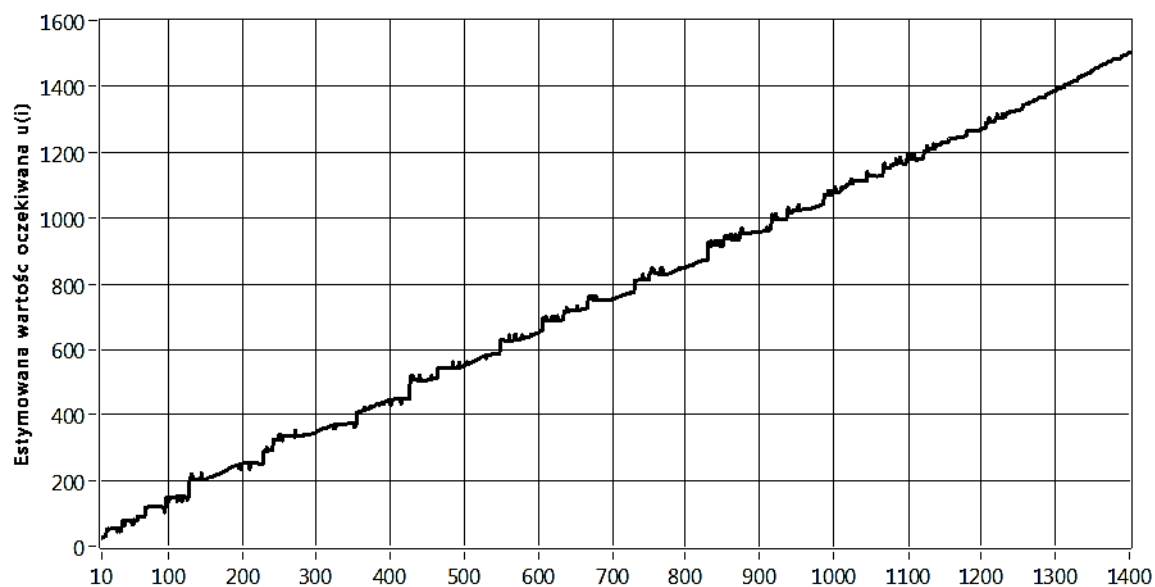
Po przeprowadzeniu analogicznych analiz jak dla poprzedniego przykładu otrzymano przebieg estymowanej wartości oczekiwanej interpolującej funkcji Gaussa, podobny do poprzedniego wyniku (rys. 54.7).

Cechą wartości oczekiwanej jest centralizacja zmiennej losowej o rozkładzie symetrycznym. Dla funkcji interpolującej wartość ta związana będzie z nachyleniem przebiegu interpolowanego dokładniej z jego dynamiką. Jeśli w oknie czasowym zawierającej N obserwacji procesu a proces ten będzie charakteryzował się pewną dynamiką to funkcja interpolująca krzywą Gaussa zarejestruje zmianę wartości tych obserwacji. Jeśli na obserwacje nałożone zostaną zakłócenia o rozkładzie symetrycznym, w niewielkim stopniu zakłóci to proces aproksymacji. Zatem estymowana wartość oczekiwana Gaussowskiej funkcji interpolującej jest wskaźnikiem dynamiki zmian obserwowanego procesu.



Rys. 54.6 Symulowany przebieg wartości skutecznej prędkości drgań w czasie pełnego cyklu eksploatacyjnego wraz z sygnałem zakłócającym

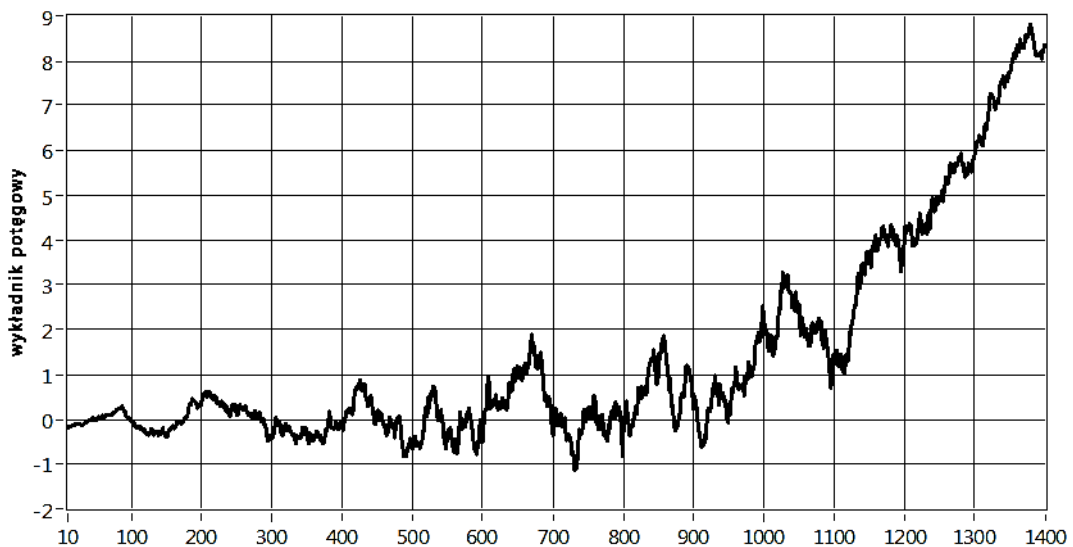
XY Graph



Rys. 54.7 Wartość oczekiwana dla aproksymującej funkcji Gaussa $N = 100$

Dla wartości wykładnika aproksymującej funkcji wykładniczej zauważyć można istotny wpływ zakłóceń (rys. 54.8). Jednakże również ten wskaźnik może być estymatorem stanu technicznego.

Damping

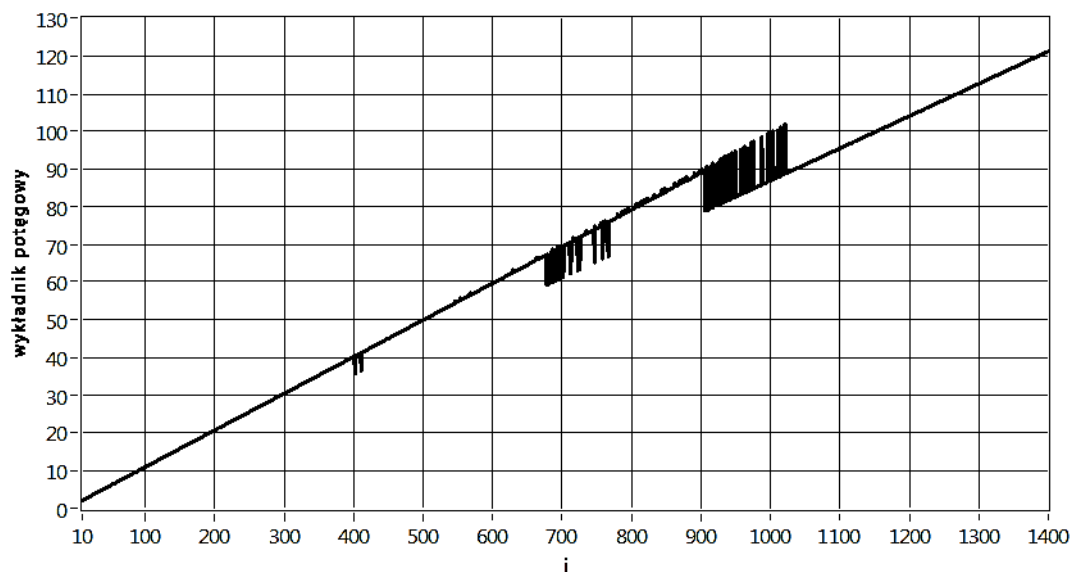


Rys. 54.8 Wykładnik potęgowy aproksymującej funkcji wykładniczej $N = 100$

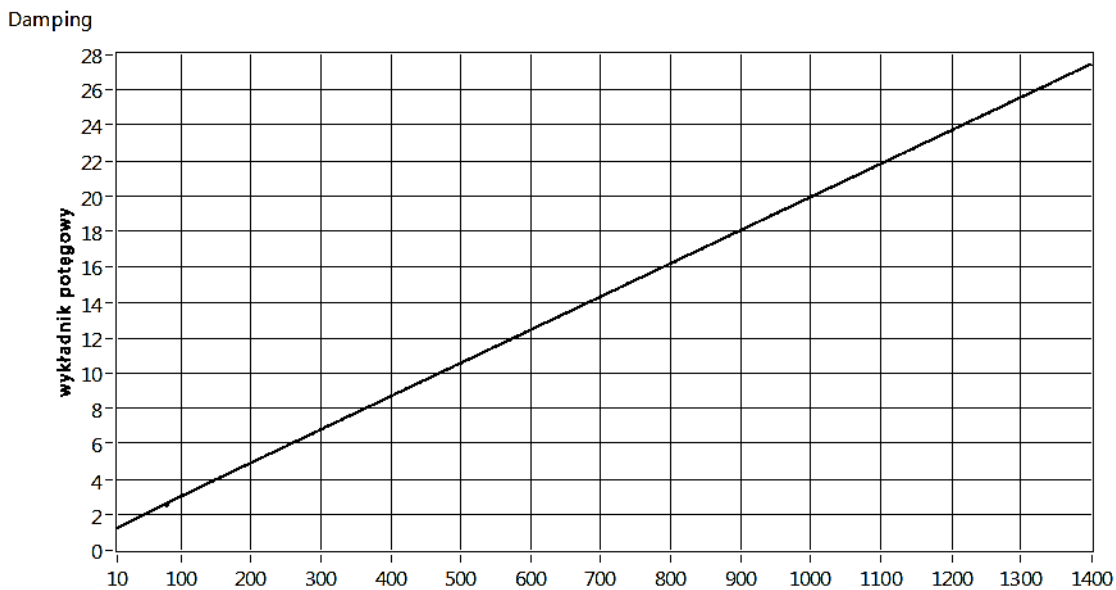
Jeśli wprowadzimy bezwzględny czas wybranych obserwacji otrzymamy rodzinę funkcji aproksymujących sygnał $\tau_i(t_N)$ gdzie $i = t(0;T-N)$, $t_N = (0;N)$. Wykładnik potęgowy wykładniczej funkcji aproksymującej będzie liniowo proporcjonalny do nachylenia charakterystyki $x(t)$. Jego wartość zależna będzie od szerokości okna obserwacji N (rys. 54.9, 54.10).

Przeprowadzone analizy wykazały skuteczność zaproponowanego algorytmu w detekcji stanu przedawaryjnego. Ogólnie można wskazać że jeśli wartość wykładnika potęgowego aproksymującej funkcji wykładniczej przekracza $b > 2$ (54.7) to mamy do czynienia ze stanem przedawaryjnym.

Damping



Rys. 54.9 Wykładnik potęgowy aproksymującej funkcji wykładniczej $N = 20$ $\epsilon_{pp} = 5$



Rys. 54.10 Wykładnik potęgowy aproksymującej funkcji wykładniczej $N = 100 \varepsilon_{pp} = 5$

54.6 WERYFIKACJA METODY W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH

Zaproponowany algorytm zaimplementowany został w Zakładowy System Diagnostyczny w jednej z kopalni węgla kamiennego. Prowadzona obserwacja stanu technicznego dołowych urządzeń górniczych, polegała między innymi na okresowych pomiarach parametrów drgań w wybranych punktach na maszynie. Pomiarów dokonywano piórem wibrometrycznym (rys. 54.11).



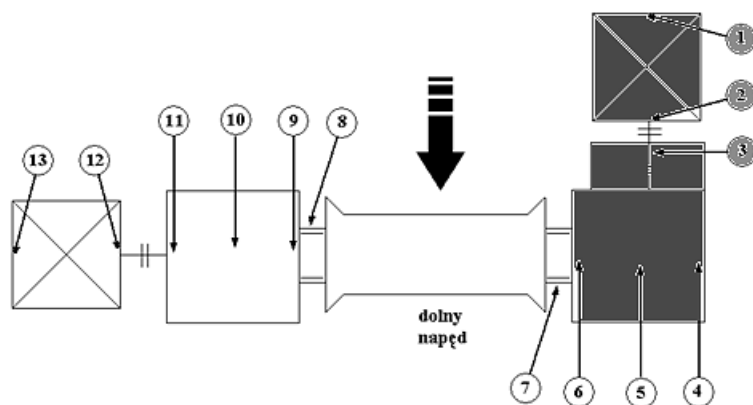
Rys. 54.11 Pióro wibrometryczne Pen plus CMVP 50 firmy SKF

W celu monitorowania stanu technicznego zastosowano wzór karty pomiarowej. Na karcie pomiarowej są informacje z numerami punktów pomiarowych, które są odzwierciedlone na urządzeniu. Przedstawiona metodologia została użyta w celu określenia maksymalnych poziomów wartości średniej prędkości drgań, określanych jako poziom przedawaryjny. Przykładowy fragment karty pomiarowej oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych dla dolnego napędu przenośnika zgrzeblowego ścianowego (wysypowego) R-850 Ryfama [3] zamieszczono w tabeli 54.1.

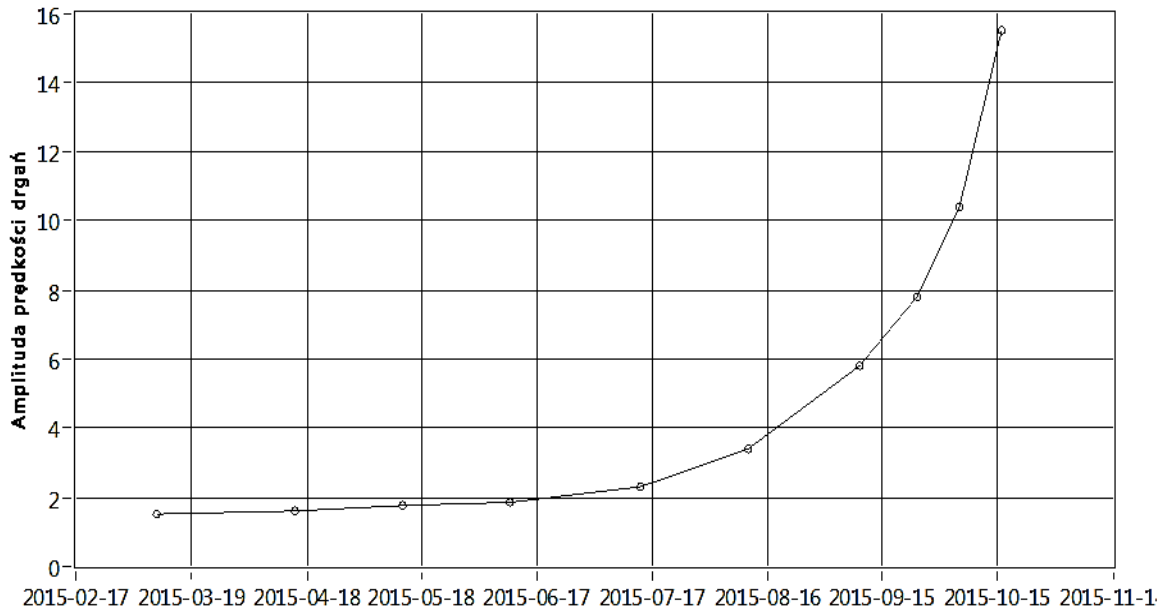
Dla zebranych danych sporządzono wykres zmian wartości skutecznej prędkości drgań (oznaczenie w tabeli ↑). Wykres ten odpowiada założeniom zmęczeniowej degradacji maszyny (rys. 54.12).

Tabela 54.1 Karta pomiarowa przenośnika zgrzeblowego ścianowego

DATA POMIARU	ORIENTACJA POMIARU	NUMER PUNKTU POMIAROWEGO		
		1	2	3
Nr1 10.03.2010	↓	3,1	2,0	2,3
	→	3,1	1,7	2,2
	⊗	2,2	-	-
	↑	1,51	0,46	2,00
Nr2 14.04.2010	↓	3,2	2,3	2,4
	→	3,1	2,2	2,4
	⊗	2,5	-	-
	↑	1,60	1,82	6,00
Nr3 13.05.2010	↓	3,0	2,1	2,3
	→	2,7	2,0	2,3
	⊗	2,3	-	-
	↑	1,76	1,84	4,90
Nr4 10.06.2010	↓	3,1	2,1	2,4
	→	2,7	2,2	2,3
	⊗	2,3	-	-
	↑	1,85	1,92	5,90
Nr5 14.07.2010	↓	3,7	4,1	7,5
	→	3,2	4,0	7,3
	⊗	3,2	4,0	7,3
	↑	3,30	5,00	9,10
Nr6 11.08.2010	↓	3,7	4,1	7,5
	→	3,2	4,0	7,3
	⊗	3,0	-	-
	↑	3,4	15,20	34,20
Nr7 9.09.2010	↓	3,9	4,3	44,5
	→	3,5	4,1	37,0
	⊗	3,5	-	-
	↑	5,8	19,70	37,40
Nr8 24.09.2010	↓	3,9		
	→	3,5		
	⊗	3,5		
	↑	7,8	19,70	37,40
Nr9 5.10.2010	↓	3,8		
	→	3,3		
	⊗	3,7		
	↑	10,4		
Nr10 16.10.2010	↓	4,1		
	→	3,7		
	⊗	3,9		
	↑	15,5		



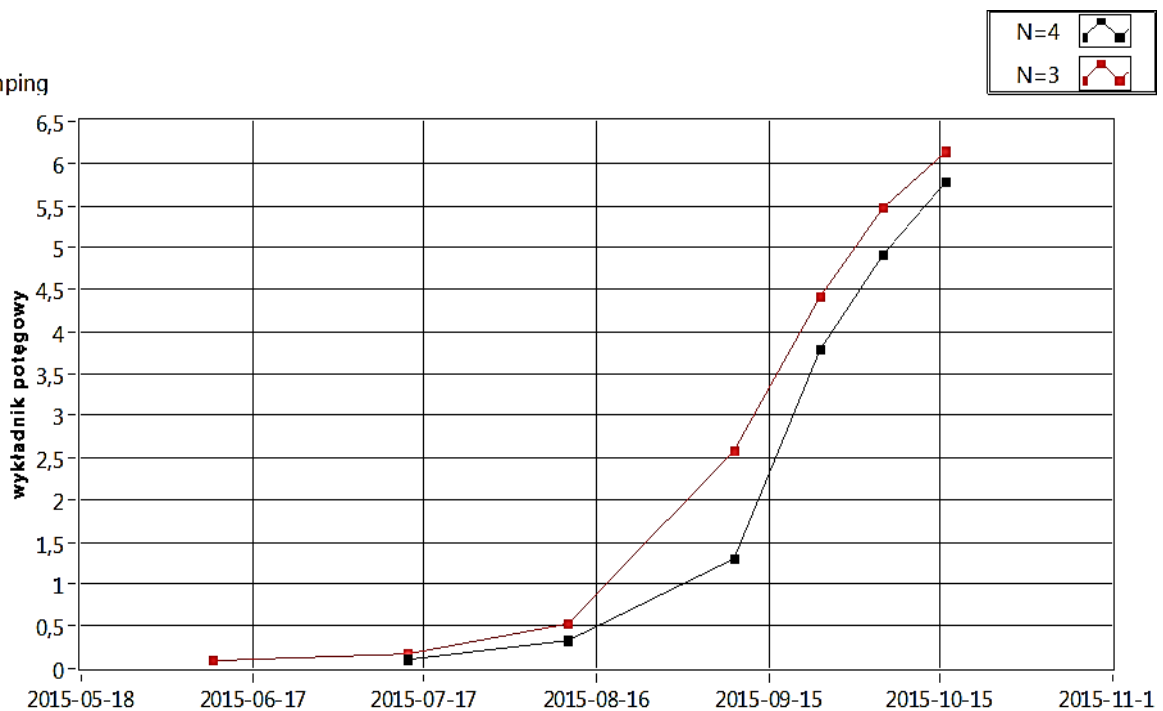
Amplitude 2



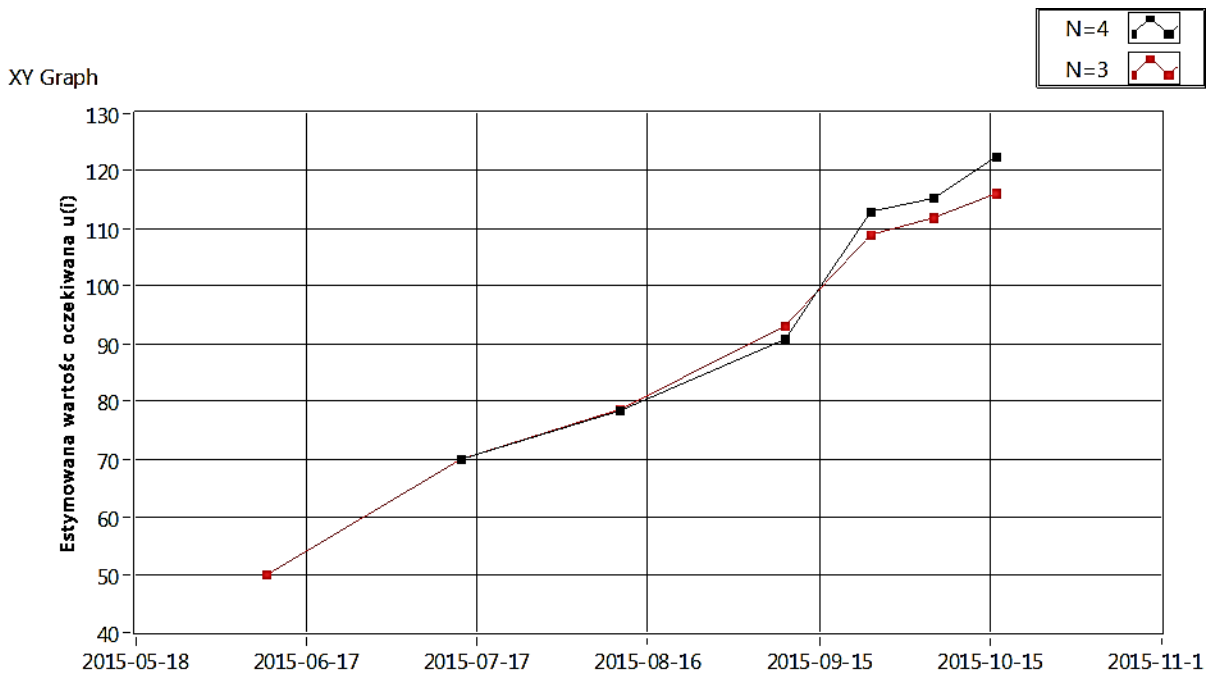
Rys. 54.12 Przebieg wartości średniej prędkości drgań dla 1 pkt pomiarowego

Przeprowadzono analizę z uwzględnieniem 3 oraz 4 pomiarów historycznych. W tym przypadku $N = 4$ lub $N = 5$. Wartość wykładnika potęgowego oraz wartości oczekiwanej przedstawiono na rys. 54.13 oraz 54.14.

Damping



Rys. 54.13 Wykres wykładnika potęgowego



Rys. 54.14 Wykres wartości oczekiwanej

Z przeprowadzonych przykładowych analiz wynika że dla pomiaru przeprowadzonego w dniu 9 września, dla którego wartość skuteczna prędkości drgań wynosiła $5,9 \text{ mm/s}$ wykładnik potęgowy niewiele przekraczał wartość 1. Kolejny pomiar przeprowadzony 24 września spowodował że wykładnik potęgowy przekroczył 3,5, co jednoznacznie świadczy o rozpoczętej fazie przedawaryjnej. Wartość oczekiwana również gwałtownie wzrosła, potwierdzając hipotezę. Informacja ta wskazała stan przedawaryjny napędu przenośnika. Konsekwencją tego był wzmożona kontrola jego stanu technicznego oraz przygotowanie technologiczne do jego naprawy. Przenośnik pracował w tym stanie jeszcze dwa tygodnie po czym został wyłączony z ruchu. Jego naprawa jednoznacznie potwierdziła zaobserwowane uszkodzenia.

54.7 PODSUMOWANIE

Znany w teorii niezawodności rozkład Weibulla, dobrze modeluje zjawiska degradacji systemów technicznych. Stan dynamiczny, będący odzwierciedleniem degradacji obiektu oceniony może być na podstawie obserwacji procesów resztkowych, w szczególności drgań. Tym samym parametry drgań powiązane są z poziomem niezawodności maszyny. Podjęto zatem próbę oceny stanu degradacji maszyny w oparciu o analizę trendu poziomu drgań oraz model związany z rozkładem Weibulla. Przeprowadzono symulacje potwierdzające możliwość zastosowanie tej teorii. Wykazano cenna właściwość algorytmu, polegającą na uśrednianiu zakłóceń pomiarowych oraz niezależność czasu. Opracowany algorytm zastosowany został do rzeczywistych danych pomiarowych z dołowych maszyn górniczych. Wieloletnie pomiary oraz zaprezentowane metodologia pozwoliła na określenie dopuszczalnych poziomów drgań dla poszczególnych maszyn, jak również możliwość oceny stanu degradacji maszyny w przypadku niepełnego cyklu roboczego.

LITERATURA

1. E. Kosicka, E. Kozłowski i D. MAZURKI, „The use of stationary tests for analysis of monitored residual processes,” *EKSPLORACJA I NIEZAWODNOŚĆ - MAINTENANCE AND RELIABILITY*, tom 17, nr 4, 2015.
2. A. Polak, „Analiza metody iteracyjnej minimalizacji w regularyzacji estymacji nieliniowej,” *Przegląd Elektrotechniczny*, tom R86, nr 9, pp. 27-30, 2010.
3. W. Biały, *Maszynoznawstwo*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2006.
4. W. Weibull, „A statistical distribution function of wide applicability,” *J. Appl. Mech.-Trans. ASME*, tom 3, nr 18, pp. 293-297, 1951.
5. S. Furmanek i Z. Kraszewski, *Niezawodność łożysk tocznych*, Warszawa: Wydawnictwo Przemysłowe WEMA, 1989.
6. C. Cempel, *Diagnostyka Wibroakustyczna Maszyn*, Warszawa: PWN, 1989.
7. A. Charchalis i A. Grządziela, „Vibration diagnostics of marine gas turbine engines,” *Journal of KONES*, pp. Vol. 18, No. 1 ; 157-162, 2011.
8. B. Łazarz, G. Wojnar i G. Peruń, „WPLYW SZTYWNOŚCI ŁOŻYSK TOCZNYCH,” *DIAGNOSTYKA*, tom 45, nr 1, pp. 135-142, 2008.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2016

dr inż. Tomasz Korbiel
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: tkorbiel@agh.edu.pl

dr hab. inż. Witold Biały, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska
e-mail: wbialy@polsl.pl

mgr inż. Stefan Czerwiński
Kompania Węglowa SA., Oddział KWK „Jankowice”
ul. Jastrzębska 12, 44-253 Rybnik, Polska
e-mail: wychcki@o2.pl

OCENA STANU TECHNICZNEGO MASZYN GÓRNICZYCH W OPARCIU O KRYTERIUM ROZKŁADU WEIBULLA

Streszczenie: W eksploatacji maszyn i urządzeń jednym z najważniejszych parametrów jest stan dynamiczny obiektu. Najbardziej popularną metodą oceny stanu dynamicznego jest obserwacja procesów resztkowych. W szczególności, dynamiczne procesy resztkowe są nośnikiem informacji diagnostycznej. Pomiar drgań i hałasu pracujących maszyn dostarcza wiedzy na temat dynamiki ocenianej maszyny. Wieloletnia wiedza i doświadczenie pozwoliły na stworzenie procedur diagnostycznych. W większości maszyn stosowanych w przemyśle, procedury zapisane w normach ISO 10816 i ISO 7919 pozwalają na skuteczną diagnostykę oraz optymalne zarządzanie eksploatacją maszyn. Stosowalność tych norm jest bardzo duża, jednak występują maszyny, których parametry uniemożliwiają ich stosowalność. Do takich maszyn można zaliczyć niektóre maszyny stosowane w górnictwie podziemnym. W ocenie diagnostycznej kombajnów górniczych, przenośników zgrzebłowych, jak i innych maszyn będących w ciągu technologicznym, zastosowanie stref oceny zgodnych z norami ISO 10816 i ISO 7919 jest niepoprawne. W ocenie diagnostycznej tego typu maszyn najczęściej korzysta się z analizy trendów długoczasowych. Wyznaczenie dopuszczalnych poziomów drgań uzyskiwane są na drodze heurystycznej poprzez obserwacje rozwoju uszkodzenia do stanu awaryjnego. W artykule zaprezentowano metodykę oceny stanu maszyny wykorzystującą modele degradacji urządzeń, oparte o rozkład Weibulla. Opracowaną metodykę zastosowano do rzeczywistych wyników pomiaru drgań maszyn dołowych w jednej z kopalni węgla kamiennego. Przeprowadzone analizy wskazały dużą skuteczność prezentowanej metodyki.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, rozkład Weibulla, ocena stanu maszyn, analiza trendów

ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION MINING MACHINES BASED ON THE CRITERION OF THE WEIBULL DISTRIBUTION

Abstract: In exploitation of machines one of the prior parameter is dynamic condition of an object. The most popular method of giving results about dynamic condition is observation of residual processes. Especially dynamic residual processes are carriers of diagnostic information. measurements of vibration and noise of working machines provide knowledge about dynamics of a evaluated machine. Long-term knowledge and experience allowed to create diagnostic procedures. In mostly devices created in industry, procedures are written in standards ISO 10816 and ISO 7919 which allows effective diagnostic and optimal management of devices. Applicability of this standards is most popular, but there also appear devices which parameters forbid their applicability. To this devices can qualify some of used in underground mining. Giving a diagnostic mark for a longwall shearers, scraper conveyors and many of the others devices being in technological sequence, application of mark spheres compatible with ISO 10816 and ISO 7919 is incorrect. In diagnostic evaluation this kind of a machine we usually use analysis long time trends. Determination acceptable levels of vibrations are getting in heuristic way, by observation a development of a damage to an emergency state. In article there is presented methodology of giving a diagnostic mark about machines which uses models of degradations of a device, based on Weibull analysis. Presented method were used to gave real marks of vibration machinery and equipment for underground mining in one of the coalmine. Conduction of analysis showed a more effectiveness of a presented methodology.

Key words: technical diagnostics, Weibull distribution, assessment of the state machines, analysis of trends



