

Diagnostyka, w ocenie stanu technicznego maszyn i urządzeń górniczych

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2023
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 04/2023

2023, volume 12, issue 1, pp. 46-59

Stefan Czerwiński

Jan Kania
Politechnika Śląska, Poland



Streszczenie: W artykule, podjęto próbę przedstawienia skutecznego sposobu oceny stanu technicznego maszyn i urządzeń górniczych. Celem jest przedstawienie skutecznych metod pomiarów temperatury oraz drgań i wibracji generowanych podczas pracy urządzeń i maszyn górniczych. Urządzenia mierzące temperaturę bez kontaktu z danym obiektem, zbudowane są w oparciu o różnego typu detektory promieniowania podczerwonego lub matryce takich detektorów. Urządzenia termowizyjne obrazują rozkład temperatury na całej powierzchni w przeciwieństwie do pirometrów mierzących temperaturę punktowo. Natomiast drgania i wibracje generowanych podczas pracy przekładni urządzeń i maszyn prowadzono przy pomocy pióra wibrometrycznego, oraz testera stanu maszyny a uzyskane pomiary wykorzystano do diagnozowania stanu zużycia poszczególnych elementów tych maszyn. Głównym celem jest opracowanie sposobu wykorzystania technik diagnostycznych dla potrzeb realizacji procesu bezawaryjnej pracy zakładu górniczego.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, termometria bezkontaktowa, wibroakustyczna, stan techniczny, maszyna, urządzenie górnicze

WPROWADZENIE

Diagnostyka techniczna jest dziedziną wiedzy obejmującą całokształt zagadnień teoretycznych i praktycznych dotyczących identyfikacji i oceny aktualnych, przeszłych i przyszłych stanów obiektu technicznego, z uwzględnieniem jego otoczenia. Celem diagnostyki technicznej jest badanie i ocena stanu obiektu technicznego w ściśle określonym czasie, dla potrzeb jego porównania ze stanem wzorcowym i stwierdzenia zdatności lub niezdatności obiektu technicznego oraz ustalenie przyczyn zaistniałego stanu, jak również dokonanie prognozy możliwych przyszłych stanów obiektu [13, 15]. A zatem, istota diagnostyki technicznej polega na określeniu stanu maszyny w oparciu o pomiar wartości wyodrębnionych symptomów diagnostycznych i porównanie ich z wartościami nominalnymi. Konieczność oceny stanu technicznego obiektu wynika z potrzeby podejmowania decyzji dotyczących dalszego postępowania z obiektem. Może to być decyzja o poprawności wykonania lub montażu obiektu technicznego, jego dalszym użytkowaniu, podjęciu przedsięwzięć profilaktycznych (tj. regulacja, wymiana

poszczególnych elementów) lub wprowadzeniu zmian w konstrukcji, technologii wykonania lub sposobie eksploatacji [3, 9, 14, 15].

STAN OBIEKTU

Stan obiektu określa się jako zbiór wartości cech obiektu zidentyfikowanych w danej chwili czasu. Pojęcie najczęściej wiązane jest ze stanem eksploatacyjnym, który określa się jako zbiór wartości charakterystyk technicznych i ekonomicznych, ustalony dla obiektu w danej chwili czasu eksploatacji lub w określonym przedziale czasu eksploatacji.

Stan obiektu technicznego uwarunkowany jest następującymi czynnikami:

- konstrukcyjnymi, związanymi z wyborem rozwiązania konstrukcyjnego zespołów i układów oraz doбором cech konstrukcyjnych (dopuszczalnych odchyłek, luzów, tolerancji, itp.),
- technologicznymi, determinowanymi przez stopień automatyzacji procesów produkcyjnych oraz poprawność wykonania i montażu zespołów i podzespołów,
- eksploatacyjnymi, związanymi z „jakością” procesu użytkowania i obsługiwanego obiektu, rozwojem procesów zużyciowych, uszkodzeń oraz wpływem czynników zewnętrznych, np. warunków meteorologicznych, dodatkowych wymuszeń, itd. [9].

Wymienione czynniki często mają charakter losowy, a więc obiekty które przepracowały ten sam okres, mogą znajdować się w krańcowo różnym stanie technicznym.

Stan obiektu technicznego może być określany na dwa sposoby:

- a) w sposób bezpośredni, na podstawie badań elementów obiektu i badań współdziałania tych elementów. Wymaga to najczęściej demontażu obiektu oraz adaptacji obiektów do badań, co często powoduje zmianę warunków ich współdziałania,
- b) w sposób pośredni, na podstawie obserwacji sygnałów diagnostycznych związanych z działaniem obiektu technicznego. Sygnałem diagnostycznym może być dowolny przebieg wielkości fizycznej niosący informację o stanie obiektu [14].

Stan obiektu technicznego można określić obserwując funkcjonowanie obiektu, tzn. jego wyjście główne przekształconej energii oraz wyjście dyssypacyjne, gdzie obserwuje się procesy resztkowe. Obserwacja tych wyjść daje wiele możliwości diagnozowania stanu obiektu poprzez:

- obserwację procesów roboczych, przez monitorowanie parametrów pracy obiektu w sposób ciągły lub okresowy, czy też prowadzenie badań sprawnościowych maszyn na specjalnych stanowiskach (moc, prędkość, ciśnienie, itp.),
- badania jakości wytworów, zgodności wymiarów, pasowań, połączeń, itp., wynikających z wprost proporcjonalnej zależności jakości produkcji do stanu technicznego obiektu,

- obserwację procesów resztkowych (wibroakustycznych, elektrycznych, magnetycznych, cieplnych, tarciovych, itd.), stanowiących podstawę metod diagnostyki technicznej.

Określenie stanu obiektu, będące wynikiem procesu diagnozowania, wiąże się z koniecznością dokonania klasyfikacji, a więc koniecznością zaliczenia obiektu do pewnej klasy stanów. Z punktu widzenia eksploatacji obiektów technicznych wyróżnia się dwie podstawowe klasy stanów – klasę stanów zdatności lub niezdatności. W praktyce stosuje się tyle klas stanów, ile można w sposób jednoznaczny i bezdyskusyjny zidentyfikować i wykorzystać. Z reguły jest ono zgodne z celem klasyfikacji oraz zależne od liczby stanów cząstkowych, np.: stan niedopuszczalny, dostateczny, dobry i bardzo dobry [14, 15].

POJĘCIE CZASU W DIAGNOSTYCE

Stan obiektu eksploatacji może zmieniać się z upływem czasu jego użytkowania, a zmiana wartości cech stanu obiektu najczęściej spowodowana jest postępującym procesem zużycia obiektu. A zatem, obserwacja chwilowych zmian wartości cech stanu maszyny z upływem czasu może prowadzić do identyfikacji aktualnego stanu maszyny. W celu rozwiązania tak sprecyzowanego zadania diagnostycznego wygodnie jest przyjąć, że inna jest dziedzina czasu, w której szacowane są chwilowe wartości cech sygnału (symptomu diagnostycznego), inna z kolei dziedzina, w której obserwowane są zmiany stanu obiektu badań. Wynika to również z faktu, że przedziały estymacji chwilowych wartości cech sygnału mierzone są najczęściej w ułamkach sekund, natomiast zmiany w działaniu maszyn zachodzić mogą w kalendarzowych jednostkach czasu. Opisaną sytuację przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Krzywa wannowa przebiegu zużycia i kończenie eksploatacji oraz końcowa faza krzywej i możliwości identyfikacji uszkodzenia

Analizując rys. 1 można zauważyć, że obserwacja trendu cyklu zużycia, tzw. krzywa wannowa, na której możemy obserwować postępujący przebieg zużycia w ciągu czasu. W pierwszym obszarze, docierania dochodzi na początku eksploatacji do wyraźnego zużycia. Zużycie to zmniejsza się stopniowo wraz z stopniowym docieraniem się części, aż do osiągnięcia bieżącego zużycia eksploatacyjnego. Przy osiągnięciu ostatniej fazy obszaru kończenia eksploatacji dochodzi z powrotem do

stopniowego zwiększenia zużycia aż do szybkiego jego wzrostu. Obszar ten jest charakteryzowany procesami starzenia się, charakteryzuje się wyraźną degradacją materiału, a intensywność awarii wyraźnie wzrasta. Dla obiektywnego określenia stanu technicznego możemy użyć różnych metod diagnostyki technicznej, które pozwolą na wykrycie dopiero co powstającego uszkodzenia albo nawet uszkodzenia jeszcze przed jego pojawieniem się na powierzchni materiału. Powstające uszkodzenie wydają sygnał o wysokiej częstotliwości, który można przechwycić przy użyciu adekwatnych metod diagnostyki. Metody te pozwalają na bardzo szybkie zwrócenie uwagi na powstanie uszkodzenia i problemy.

Można zauważyć, że obserwacja dyskretnego przebiegu stanów chwilowych z rozdzielczością czasową i czasu, może prowadzić do identyfikacji stanu obiektu. Z teoretycznego punktu widzenia, stan chwilowy obiektu eksploatacji powinien odpowiadać punktowi na osi czasu. W praktyce, identyfikacja chwilowych wartości cech takiego stanu z oczywistych powodów jest dokonywana w pewnym przedziale czasu, równym ($t_i, t_i + \Delta t$). Tak więc termin chwilowy odpowiada określonej chwili czasu „makro” Θ i równocześnie skończonemu przedziałowi czasu „mikro” t .

W badaniach obiektów eksploatacji przyjęto (jako zasadę) rozróżnianie następujących zbiorów dziedziny czasu:

- zbiór czasu rzeczywistego \mathcal{Q} , zgodny i mierzony zgodnie z czasem zegarowym i kalendarzowym, stosowany np. w monitorowaniu maszyn,
- zbiór czasu „mikro” t , służący do opisu przebiegu wartości sygnału diagnostycznego na podstawie którego szacowane są wartości chwilowe wybranych symptomów stanu,
- zbiór czasu „makro” Θ , zwanego czasem eksploatacyjnym lub czasem życia obiektu, służący do opisu przebiegu wartości symptomów stanu w czasie użytkowania obiektu.

Czas „makro” może być wyrażany, w zależności od rodzaju maszyny lub urządzenia, jako faktyczny czas kalendarzowy liczony od początku użytkowania obiektu, jako przebieg kilometrów, liczba przepracowanych godzin itd. Z kolei czas „mikro” wyrażany jest najczęściej w sekundach, mili lub mikrosekundach, co związane jest z obserwacją szybkozmiennych przebiegów czasowych, tj.: drgania, efekt akustyczny, itp. [5, 6].

PODSTAWOWE CELE DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ

Zastosowanie diagnostyki technicznej w cyklu życia maszyny rozpoczyna się praktycznie od etapu jej konstruowania, a kończy wraz z wycofaniem obiektu z procesu eksploatacji. Na każdym z tych etapów prowadzi się działania diagnostyczne o różnym charakterze, których zakres zależy od celu diagnostyki. Ze względu na rodzaj prowadzonych działań diagnostycznych oraz cel jakiemu ma służyć uzyskana diagnoza można wyróżnić:

- diagnostykę konstrukcyjną, której celem jest identyfikacja poprawności konstrukcji przez określenie źródeł drgań i/lub hałasu oraz innych niekorzystnych oddziaływań zewnętrznych i wewnętrznych,
- diagnostykę kontrolną, której celem jest ocena jakości wykonania i montażu poszczególnych podzespołów, zespołów lub całych maszyn i urządzeń,
- diagnostykę eksploatacyjną, której zadaniem jest ocena stanu obiektu technicznego w czasie jego użytkowania, będąca podstawą podjęcia decyzji o konieczności wymiany części lub przeprowadzenia remontu,
- diagnostykę procesów, której zadaniem jest sterowanie i kontrola poprawności prowadzenia procesu technologicznego lub wytwórczego [2, 4].

DIAGNOSTYKA MASZYN I URZĄDZEŃ

Termometria bezkontaktowa to dział pomiarów związany z pomiarem temperatury ciał stałych, cieczy i gazów bez kontaktu z danym obiektem. Technika ta wykorzystuje fakt, iż wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego emitują promieniowanie ściśle związane z ich temperaturą. Promieniowanie to emitowane jest w paśmie podczerwieni niewidzialnym przez ludzkie oko. Urządzenia mierzące to promieniowanie i na tej podstawie obliczające temperaturę zbudowane są w oparciu o różnego typu detektory promieniowania podczerwonego lub matryce takich detektorów. Termografia jest najbardziej zaawansowaną formą termometrii bezkontaktowej. Urządzenia termowizyjne obrazują rozkład temperatury na całej powierzchni w przeciwieństwie do pirometrów mierzących temperaturę punktowo. Termowizja (termografia, zobrazowanie termiczne,) zajmuje się detekcją, rejestracją, przetwarzaniem i wizualizacją niewidzialnego promieniowania podczerwonego (rzadziej mikrofalowego) emitowanego przez obiekty, przy czym otrzymany obraz jest odwzorowaniem rozkładu temperatury na powierzchni obserwowanego obiektu. Obraz ten jest nazywany termogramem. Najdawniejsze i obecnie znacząco wzrastające zastosowanie termowizji dotyczy przemysłu. Kamery są stosowane w systemach nadzorowania procesów technologicznych, monitorowania instalacji przemysłowych, a także wspomagają projektowanie i wytwarzanie wyrobów [8, 12, 15].

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA TERMOMETRII BEZKONTAKTOWEJ.

Przykładem zastosowania termometrii bezkontaktowej jest kamera termowizyjna stosowana do diagnostyki maszyn i urządzeń, a szczególnie zastosowana do znalezienia potencjalnych uszkodzeń urządzeń elektrycznych. Kamera jest lekkim, bardzo łatwym w obsłudze urządzeniem łączącym funkcje kamery termowizyjnej i aparatu cyfrowego. Unikalne reflektory (diody LED) oświetlające badany obiekt umożliwiają skuteczną pracę nawet w ciemnym otoczeniu, co jest niezbędne podczas pracy w wyrobisku górniczym. Oprogramowanie dołączone do kamery pozwala na komputerową analizę, zarówno wizualną jak i termowizyjną badanych obiektów. Kamery te przetwarzają niewidzialną podczerwień lub promieniowanie

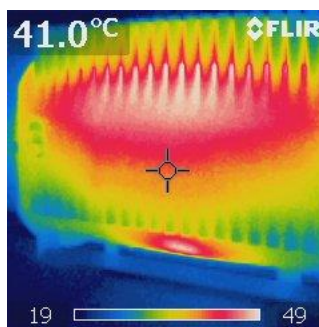
cieplne na gotowe do analizy termogramy poprzez bezkontaktowy pomiar temperatury w połączeniu z możliwościami fotografii cyfrowej. Praktycznie każdy element mechaniczny czy elektryczny, zanim ulegnie uszkodzeniu wytwarza ciepło, dzięki czemu łatwo znaleźć uszkodzenie. Jest to bardzo cenne narzędzie diagnostyczne dla wielu różnych zastosowań, takich jak znalezienie potencjalnego uszkodzenia elektrycznego lub przegrzanych części maszyn i sprawdzenia ich przed i po naprawie. Kamery te (rys. 2), zapisują do 100 termogramów na karcie pamięci oraz są wyposażone w monitor ciekłokrystaliczny [8, 12, 15].



Rys. 2 Kamera termowizyjna FLIR i40

Źródło: [8]

Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu na kolorową mapę temperatur. System termowizyjny jest więc rodzajem niezwykle termometru, który pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie. Zastosowania nieinwazyjne wykrywanie wad zwiększonej rezystancji dla rozdzielni wszystkich napięć, transformatorów, szafek elektrycznych, uszkodzonych bezpieczników i wszelkich złączy elektrycznych (np. mufy kablowe) w których ważny jest rozkład temperatur (rys. 3) [8].

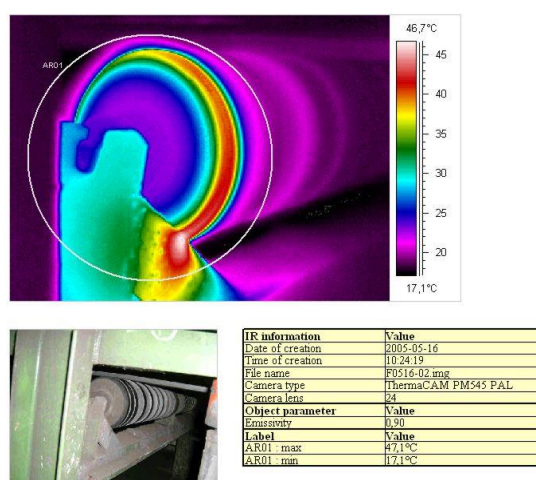


Rys. 3 Przykładowy termogram przedstawiający rozkład temperatury na powierzchni obudowy transformatora It 3Sb

Termogramy przedstawiają analizę w którym miejscu transformatora występuje największa temperatura, poprzez bezkontaktowy jej pomiar. Element elektryczny wytwarzający nadmierne ciepło, zanim ulegnie uszkodzeniu jest wstępnie zdiagnozowany. Następnym krokiem jest pomiar już wytypowanego elementu i jego wymiana.

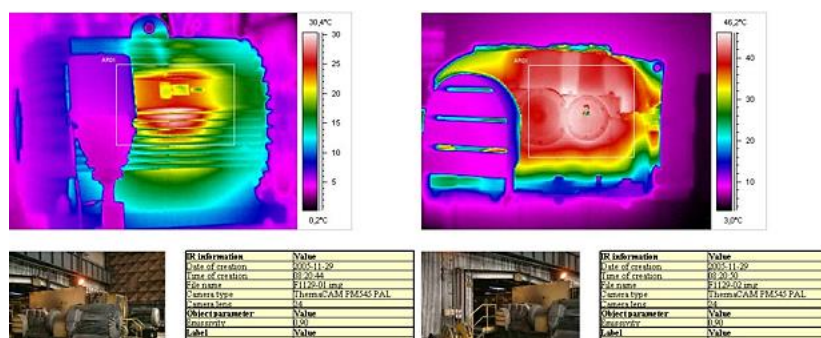
Powszechnie wiadomo, że bardzo droгим elementem przenośnika taśmowego jest sama taśma, której dobrane parametry oraz żywotność zależą przede wszystkim od wielkości wprowadzanych do niej sił, oraz prowadzenia taśmy na trasie przenośnika, zastosowanie optymalnej liczby zestawów krążnikowych odpowiednio ustawionych o wysokiej jakości [1, 7, 10, 11, 15].

Rysunek 4 przedstawia termogram krążnika zabudowanego na powrocie taśmy, jego temperatura wskazuje na zaawansowane stadium degradacji łożyska krążnika. W takich przypadkach elementy toczne łożyska zostały już wyrzucone na zewnątrz a bieżnie łożyska zaczynają wytaczać rowek na osi krążnika. Stwarza to realne niebezpieczeństwo wystąpienia pożarów, może doprowadzić do samozapłonu węgla i taśmy.



Rys. 4 Termogram krążnika zabudowanego na powrocie taśmy

Termogramy wykazują szereg miejsc o podwyższonej temperaturze, które wskazują na zły stan techniczny łożysk. Metoda termograficznej oceny stanu technicznego łożysk krążników może stanowić uzupełnienie okresowych przeglądów taśmociągów i umożliwić wykrycie uszkodzeń łożysk krążników, przy których nie jest emitowany hałas na zewnątrz, a uszkodzenie objawia się jedynie miejscowym przyrostem temperatury. Wydaje się zasadnym prowadzenie badań termograficznych jako metod uzupełniających przeglądów generowanych podczas pracy urządzeń i maszyn górniczych (rys. 5).



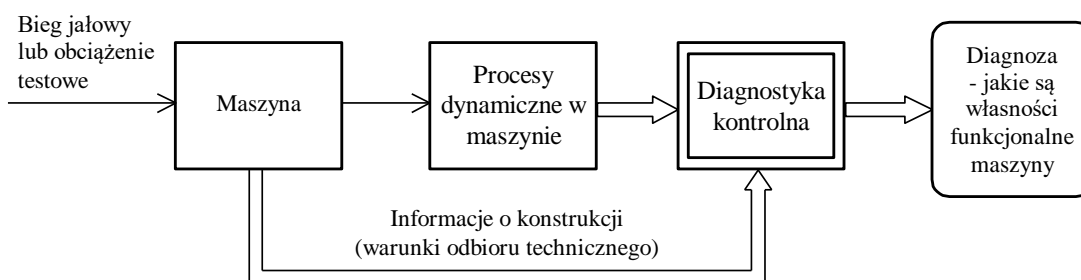
Rys. 5 Termogram silnika napędowego oraz przekładni taśmociągu

Różnica temperatur w obszarze ARO 1 wynosi 27°C co wskazuje na dobre warunki pracy silnika oraz przekładni służących do napędu taśmociągu. Brak anomalii termicznych (rys. 5).

Zdarzają się przypadki, w których zostają wychwycone uszkodzenia łożysk. Objawia się to punktowym wzrostem temperatury, jeszcze bez emitowanego hałasu do otoczenia i drgań. Można również wychwycić zużycie na sprzęgle, które jest przyczyną powstania niewyważenia i prowadzi w efekcie do zniszczenia łożysk. Metoda termometrii bezkontaktowej znakomicie może wzbogacić i uzupełniać metody diagnozowania maszyn poprzez diagnostykę wibroakustyczną.

DIAGNOSTYKA WIBROAKUSTYCZNA

Diagnostyka wibroakustyczna polega na ocenie stanu obiektu technicznego na podstawie obserwacji wibroakustycznych procesów resztkowych, tj.: drgania, hałas, pulsacja, generowanych w czasie pracy tego obiektu. Diagnostyka zalicza się do metod przyrządowych pośrednich. Wynika z tego, że celem diagnostyki wibroakustycznej (oprócz celu nadrzędnego jakim jest ocena stanu maszyny), jest opracowanie odpowiednich metod, środków oraz procedur diagnostycznych, będących odpowiedzią na pytania co, jak, i czym mierzyć, oraz jak zdefiniować stany graniczne i działania zapobiegawcze. Szczególną zaletą, wynikającą z zastosowania procesów resztkowych jako nośnika informacji o stanie maszyny, jest dostępność takiej informacji bez konieczności zatrzymywania i demontażu obiektu. Charakter procesów wibroakustycznych pozwala więc na bezdemontażowy i nieinwazyjny sposób prowadzenia badań diagnostycznych. Rozważania na temat podstawowych zadań oraz roli diagnostyki wibroakustycznej w życiu maszyny rozpoczyna się w procesie wytwarzania elementów maszyn i urządzeń. Kolejnym etapem jest montaż współpracujących elementów.



Rys. 6 Schemat współzależności w przypadku wibroakustycznej diagnostyki kontrolnej maszyn

Tu również na każdym etapie są wnoszone nieuniknione przypadkowe odchyłki od wzorca idealnego procesu montażu. Zastosowanie wibroakustycznej diagnostyki kontrolnej polega na sprawdzeniu czy własności maszyn odzwierciedlone przez zachodzące w nich procesy dynamiczne mieszczą się w granicach ustanowionych przez warunki odbioru technicznego. Przykładem tak

prowadzonej diagnostyki może być kontrola niewyrównoważenia maszyn wirnikowych, kontrola drgań i hałasu łożysk, silników, reduktorów, itp. Schemat procesu kontroli z zastosowaniem diagnostyki wibroakustycznej przedstawiono na rys. 6. Kolejna faza życia maszyny oraz obszar zastosowań diagnostyki wibroakustycznej to eksploatacja. Diagnostyka eksploatacyjna stanowi obecnie najbardziej rozwiniętą gałąź diagnostyki technicznej, a jej celem jest określenie aktualnego stanu obiektu eksploatacji oraz prognoza najbliższych możliwych zmian stanu [3, 4, 6].

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA DIAGNOSTYKI WIBROAKUSTYCZNEJ

Przykładem zastosowania diagnostyki wibroakustycznej jest analiza pomiarów drgań i wibracji generowanych podczas pracy przekładni urządzeń i maszyn górniczych prowadzonych przy pomocy pióra wibrometrycznego oraz testera stanu maszyny i wykorzystanie uzyskanych pomiarów do diagnozowania stanu zużycia poszczególnych elementów tych maszyn. Monitoring prowadzony jest przy użyciu pióra wibrometrycznego Pen plus CMVP 50 oraz testera stanu maszyny CMAS100 (rys. 7) zastosowanych do diagnostyki maszyn i urządzeń w zakładzie górniczym.



Rys. 7 Tester stanu maszyny CMAS100

Źródło:[8]

Głównym celem monitoringu jest opracowanie sposobu wykorzystania technik wibroakustycznych dla potrzeb realizacji procesu bezawaryjnej pracy zakładu górniczego, poprzez ocenę stanu zużycia poszczególnych elementów maszyn w warunkach produkcyjnych. Badanie polega na uproszczeniu procedury oraz natychmiastowym wydaniu i wykonaniu analizy oraz ocenie stanu obserwacji zachodzących zmian. Idea sprowadza się do zasady – dwa obrazy w jednym, czyli np. dwie karty pomiarowe (poprzednie badanie i nowe) i obiektywna ocena różnicy pomiarów. Pozwala to na obserwowanie dwóch próbek jednocześnie (dwie karty pomiarowe) i obserwacji zachodzących zmian. Źródłem danych, informacji o stanie parametrów środowiska są przenośne urządzenia do monitorowania stanu maszyny zbierane w środowisku monitorowanym w stałych lub ruchomych punktach pomiarowych. Uproszczona zasada działania polega na rejestracji danych sygnału, odpowiednim przetworzeniu i wyświetleniu wyników na ekranie monitora przyrządu pomiarowego. Następnie utworzeniu raportu z

przebiegu pomiarów i porównaniu z diagramami oceny określonych optymalnych norm parametrów pracy i poziomów alarmowych. System ten pozwala poprzez zbieranie danych w środowisku monitorowanym być niezawodnym w utrzymaniu ruchu [1, 2, 4, 8, 12, 15]. Wzór karty pomiarowej przedstawiono na rys. 8.

ODDZIAŁ: ŚCIANA:

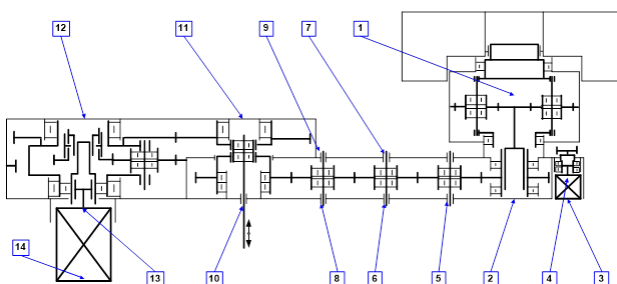
NAZWA URZĄDZENIA:

data pomiaru	orientacja pomiaru	NUMER PUNKTU POMIAROWEGO													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	↓														
	→														
	⊗														
	↑														

UWAGI:

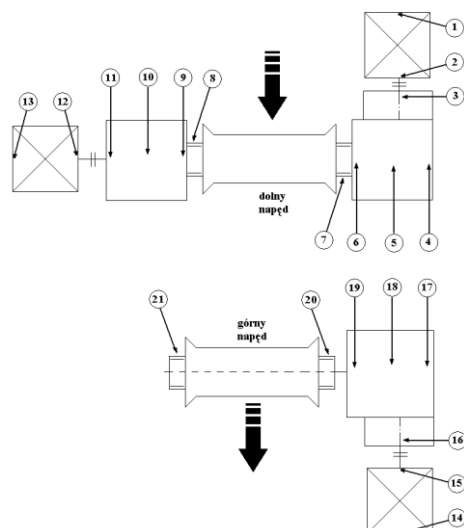
Rys. 8 Wzór karty pomiarowej

Pomiary dokonane są w trzech kierunkach: osiowo, poziomo, prostopadle (pionowo). Osiowe i poziome pomiary wykonywane są w pobliżu środka mierzonego elementu, a mierzony element w miejscu pomiaru powinien być oczyszczony. Wybrany punkt pomiarowy zaznaczamy przy pomocy punktaka i pomiary należy przeprowadzać w tym samym miejscu. Punkty te naniesione są na schemacie w zeszycie badań. Liczbę i sposób rozmieszczenia punktów pomiarowych określa się indywidualnie dla każdego typu maszyny, bądź urządzenia, w oparciu o schemat kinematyczny (rys. 9, 10).



Rys. 9 Schemat kinematyczny prawe ramię kombajnu KSW z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

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 [16].



Rys. 10 Schemat kinematyczny z zaznaczonymi punktami pomiarowymi – przenośnik zgrzeblowy ścianowy R-850

Skuteczne progi ostrzegawcze uzyskiwane są na drodze heurystycznej poprzez obserwację 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 [17]. Do opracowania wyników badań zastosowano metody diagnozowanie w odniesieniu do PN-90/N-01358, porównawcza dla tych samych punktów jednej maszyny badanych w pewnych stałych odstępach czasowych, oraz metoda porównawcza dla różnych maszyn tego samego typu pracujących w podobnych warunkach. Diagnozowanie odbywa się wg. PN-90/N-01358 “Metody pomiarów i oceny drgań maszyn”, natomiast ocena maszyny wg. PN-90/N-01358. Jednak podstawowa ocena stanu urządzenia zwana metodą porównawczą należy do doświadczonej grupy pracowników oceniających wyniki pomiarów. Nanoszone wyniki pomiarów na charakterystyki i diagramy, dają przejrzysty obraz pracy maszyny i zmian zachodzących w maszynie. Przykładem metody diagnozowania porównawczej pomiarów jest jedna z maszyn urabiających stosowana na kopalni, kombajn ścianowy. W celu pomiaru przygotowuje się schemat kinematyczny z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. Pomiar dla maszyny urabiającej odbywa się każdorazowo dla kombajnu nie obciążonego siłami i momentami pochodzącymi od pracy [8]. Natomiast inne urządzenia np. przenośnik taśmowy, jeżeli pozwala na to bezpieczeństwo pomiarów mierzymy dwójako, obciążone i nie obciążone siłami i momentami pochodzącymi od pracy [9]. Pomiary odbywają się okresowo zawsze w tych samych punktach pomiarowych.

PODSUMOWANIE

W klasycznym ujęciu eksploatacji o czasokresie pracy maszyny oraz terminach kolejnych czynności obsługowych decydują wskazówki eksploatacyjne opracowane przez producenta tzw. resurs. W praktyce przemysłowej istnieje jednak dość znaczna grupa maszyn, dla których czas bezawaryjnej pracy jest znacznie krótszy od czasu normatywnego, jak również zdarza się, że remontowane są maszyny znajdujące się jeszcze w dobrym stanie technicznym. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w przypadkowym zróżnicowaniu własności na etapie wytwarzania oraz różnych obciążeniach eksploatacyjnych w fazie użytkowania, wynikających z faktu zapewnienia różnych warunków użytkowania poszczególnych maszyn. Konieczność minimalizacji kosztów eksploatacji środków technicznych zmusza więc eksploataatorów maszyn do unikania nieplanowanych przestojów oraz awarii, jak również do unikania zbędnych remontów maszyn będących jeszcze w dobrym stanie technicznym pomimo przekroczenia normatywnego czasu pracy. W tym celu szerokie zastosowanie znalazły termometria bezkontaktowa oraz wibroakustyczna diagnostyka eksploatacyjna. Zadaniem tej diagnostyki jest określenie stopnia zdatności obiektu do dalszej eksploatacji oraz określenie rodzaju i stopnia zaawansowania uszkodzenia jak również oszacowanie dalszego czasu bezawaryjnej pracy. Obecny stan wiedzy diagnostyki eksploatacyjnej pewnych klas obiektów technicznych jak np.: turbosespoły, silniki spalinowe i elektryczne, czy łożyska toczne, pozwala na częściowe lub całkowite zastąpienie modelu ich eksploatacji zorientowanego „czasowo” na model zorientowany na „stan obiektu”. Oznacza to, że o remoncie maszyny decyduje jej rzeczywisty stan, określany w toku diagnostycznych badań eksploatacyjnych prowadzonych w ramach systemu przeglądów lub w ramach procesu ciągłego monitorowania wyróżnionych symptomów stanu. Dodatkową zaletą zastosowania metod diagnostyki jest brak konieczności wyłączania maszyny z ruchu w trakcie procesu prowadzenia działań diagnostycznych. W ciągu technologicznego zakładu górniczego pracuje kilkaset maszyn wirujących, dlatego stosowanie diagnostyki okresowej wydaje się zasadne. Regularne okresowe pomiary maszyn i urządzeń ruchu technologicznego zakładu górniczego ich częstotliwość, ustalana jest na podstawie doświadczeń własnych i wskazówek literaturowych, przy uwzględnieniu ważności maszyn i zarejestrowanej awaryjności. Pomiary wykonuje się w regularnych odstępach czasu. W przypadku zaobserwowania nieprawidłowości częstość pomiarów zwiększa się. Przed planowanymi remontami wykonuje się dodatkowe badania. Po remontach pomiar drgań należy do rutynowych procedur odbioru maszyn do ruchu. Podstawowe znaczenie dla skuteczności działań diagnostycznych ma wybór właściwych punktów pomiarowych, analizowanych parametrów oraz trafnie dobrane kryteria dopuszczalnych poziomów. Na podstawie przedstawionych pomiarów oraz metod monitoringu można stwierdzić, iż jednoznaczne wykrycie awarii oraz ocena stanu technicznego urządzeń i maszyn jest bardzo trudna. Tylko stosowanie różnych dostępnych metod i analiz jednocześnie może umożliwić postawienie trafnej

diagnozy oceny stanu technicznego urządzenia lub maszyny. Jednakże monitoring to jedyna skuteczna metoda pozwalająca na podjęcie działań w celu uniknięcia dewastacji urządzeń i maszyn, czyli awarii i przestojów. Umożliwia ocenę stanu technicznego, decyduje o remoncie obiektu na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analiz. Wówczas możliwe jest określenie czasu, kiedy to obiekt będzie mógł jeszcze pracować, aż do bezpiecznego odstawienia na czas remontu. Z praktyki wynika również niezaprzeczalny fakt prewencji przeciwpożarowej szczególnie w podziemnych wyrobiskach górniczych. Tylko różne metody analiz sygnałów stosowane jednocześnie umożliwiają postawienie trafnej diagnozy. Ze względu na specyfikę zainstalowania w podziemnych wyrobiskach górniczych urządzeń i maszyn, jednoznaczne wykrycie awarii oraz ocena stanu technicznego urządzeń i maszyn jest bardzo trudna, wręcz niemożliwa. Warunki panujące w podziemnym wyrobisku górniczym (duża wilgotność powietrza, zapylenie, wysoka temperatura, niebezpieczne gazy, zdeformowane podłoże oraz obudowa stropu, ciasne przestrzenie wokół napędów maszyn, częste przebudowy maszyn oraz ich mobilność) wymuszają wieloparametrowe podejście do monitorowania, kontrolowania stanu urządzeń. Stosowane metody i analizy monitoringu w urządzeniach stabilnie posadowionych, pracujących w małym zapyleniu i wilgotności mają problem z diagnozą w warunkach dołowych. Chyba najlepiej w chwili obecnej w warunkach dołowych sprawdzają się małe i lekkie, nieskomplikowane urządzenia pozwalające na pomiar zmian stanu urządzeń i wczesne wykrycie specyficznych problemów [15].

LITERATURA

1. Biały W.: Awaryjność górniczych urządzeń technicznych w procesie wydobywczym. II Międzynarodowa Konferencja „Problemy Bezpieczeństwa w Budowie i Eksploatacji Maszyn i Urządzeń Górnictwa Podziemnego”. Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego sp. z o.o. Łędziny. Ustroń 16-18.06.2010.
2. Cempel C.: Tomaszewski F.: Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom 1992. Praca zbiorowa.
3. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
4. Cempel C.: Wibroakustyka stosowana. PWN, Poznań 1978.
5. Cholewa W.: Kaźmierczak J.: Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów. Skrypt Pol. Śl. nr 1693. Gliwice 1992.
6. Kaźmierczak J.: Eksploatacja Systemów Technicznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.
7. Lisowski A.: Podstawy ekonomicznej efektywności podziemnej eksploatacji złóż. Katowice GIG Warszawa PWN 2001 r.
8. Materiały SKF.
9. Niziński S.: Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE, Radom 2002.
10. Przybyła H.: Projektowanie rozwiązań techniczno-organizacyjnych stosowanych w wyrobiskach ścianowych (wybrane zagadnienia). Skrypt Uczelniany nr 2063. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
11. Sikora W., Sobota P., i inni.: Systemy mechanizacyjne w przodkach o wysokiej koncentracji produkcji (Wybrane zagadnienia). Skrypt Uczelniany nr 2089. Politechnika Śląska, Gliwice 1998.

12. Wielka encyklopedia PWN – polska encyklopedia powszechna wydana w latach 2001–2005 w Warszawie przez Wydawnictwo Naukowe PWN.
13. Żółtowski B., Ćwik Z.: Leksykon diagnostyki technicznej. Wydawnictwa uczelniane ATR Bydgoszcz. Warszawa 1996.
14. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwa uczelniane ATR Bydgoszcz. Warszawa 1996.
15. S. Czerwiński, W. Biały. „Diagnostyka techniczna – wykorzystanie doraźnej diagnostyki w ocenie stanu technicznego maszyn i urządzeń górniczych” Monografia: Górnictwo-perspektywy i zagrożenia, Wydawnictwo PA NOVA, Gliwice. 2012.
16. T. Korbiel, W. Biały, S. Czerwiński. „Ocena stanu technicznego maszyn górniczych w oparciu o kryterium rozkładu Weibulla”, ZN Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji s. 639-654. Vol. 5, iss. 1(13). 2016.
17. Biały W, Maszynoznawstwo, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2006.

Diagnostics in the Assessment of the Technical Condition of Mining Machines and Equipment

Abstract: The dissertation attempts to present an effective method of assessing the technical condition of mining machinery and equipment. The aim is to present effective methods of measuring temperature as well as vibrations and vibrations generated during the operation of mining equipment and machines. Devices that measure temperature without contact with a given object are built on the basis of various types of infrared radiation detectors or matrices of such detectors. Thermal imaging devices show the temperature distribution over the entire surface, unlike pyrometers that measure the temperature at points. On the other hand, vibrations and vibrations generated during the operation of the gear of devices and machines were carried out using a vibrometric pen and a machine condition tester, and the obtained measurements were used to diagnose the wear of individual elements of these machines. The main goal is to develop a method of using diagnostic techniques for the needs of the process of failure-free operation of a mining plant.

Keywords: technical diagnostics, non-contact thermometry, vibroacoustic, technical condition, machine, mining device

Stefan Czerwiński

e-mail: wychcki@o2.pl

Jan Kania

Politechnika Śląska, Poland

e-mail: jan.andrzej.kania@gmail.com