

Wojciech CHOLEWA, Jan KAŹMIERCZAK

WIBROAKUSTYCZNE METODY OBSERWOWANIA OBIEKTU
W BADANIACH DIAGNOSTYCZNYCH

Streszczenie. Praca stanowi próbę ogólnego przedstawienia problemów, związanych z obserwowaniem i opisywaniem obiektów w badaniach diagnostycznych maszyn. Oprócz zaleceń praktycznych, dotyczących wyboru i lokalizacji czujników pomiarowych w tego typu badaniach, w pracy ujęto także rozważania ogólne z zakresu metody badań diagnostycznych. Podstawą dla przeprowadzonych uogólnień są doświadczenia z prac badawczych, prowadzonych w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej.

1. Wprowadzenie

Problemy omawiane w opracowaniu są uogólnieniem wniosków, wynikających z prac badawczych prowadzonych w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej nad wykorzystaniem sygnału wibroakustycznego w konstrukcyjnych i diagnostycznych badaniach maszyn. Prace te zapoczątkowane zostały pod kierunkiem prof. dr inż. Janusza Dietrycha i realizowane były głównie pod kierunkiem doc. dr inż. Zdzisława Jaskóły. W trakcie realizacji tych prac wykonano szereg, związanych z nimi, rozpraw doktorskich [2, 3, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15].

Szczegółowa tematyka i zakres badań były stopniowo rozszerzane od prostych zagadnień typu ergonomicznego do wibroakustycznej diagnostyki wybranych maszyn i sposobów wykorzystania sygnałów wibroakustycznych w układach kontrolno-sterujących.

W szczególności prowadzono:

- 1^o badania konstrukcyjne przekładni zębatych metodami akustycznymi, których wynikiem było opracowanie istotnych wniosków, dotyczących doskonalenia konstrukcji przekładni [6, 7, 11];
- 2^o badania sygnałów wibroakustycznych pił tarczowych, które doprowadziły do opracowania nowych konstrukcji tarcz pił, pozwalających na istotną redukcję hałasu związanego z procesem cięcia [21];
- 3^o kompleksowe badania efektu akustycznego stalowniczych pieców łukowych, w których na wyróżnienie zasługuje ta część badań, w wyniku której opracowano metodę automatycznego rozpoznawania stanu procesu metalurgicznego w piecu na podstawie analizy sygnału akustycznego [17, 18, 19, 20];
- 4^o diagnostyczne badania metodami wibroakustycznymi stanów przeduszkodzeniowych w wałkoobrotowych elementach maszyn włókienniczych [23];

- 5^o badania diagnostyczne łożysk ślizgowych dużych sprzęzarek powietrza, wykorzystywanych w górnictwie [22,25];
- 6^o prace nad określeniem ogólnego sposobu wnioskowania w badaniach diagnostycznych [5,22,24,26];
- 7^o prace konstrukcyjne związane z opracowaniem odpowiedniego uniwersalnego zestawu aparatury, których wynikiem jest między innymi programowany analizator sygnałów PAS4 [4,27].

Gromadzenie opisów szeroko pojętego działania środka technicznego, stanowiącego obiekt badań, wymaga rozwiązania całego szeregu problemów na "drodze" pomiędzy tym obiektem a przygotowanym do przetwarzania zbiorem danych liczbowych.

2. Zarys problemów badań diagnostycznych

Celem postępowania diagnostycznego jest rozpoznawanie stanu obiektu na podstawie badań nieniszczących. Ogólne określenie pojęcia "stan obiektu" przyjmują, że jest on zespołem swoistych własności przysługujących obiektowi w danej chwili, koniecznych i wystarczających do zidentyfikowania obiektu w tej chwili.

Rzeczywisty j -ty obiekt badań może być opisany zbiorem W_j jego własności i właściwości. Zbiór W_j jest najczęściej zbiorem nieskończonym, nawet wtedy, gdy obiekt charakteryzuje się małym stopniem złożoności. Ze względu na potrzeby badań oraz ograniczone możliwości poznania należy dokonać wyboru uwzględnianego podczas badań k -tego podzbioru $W_{j,k}$ zbioru własności i właściwości W_j . Losowość procesów wytwarzania maszyn oraz losowość procesów destrukcji wywołanych eksploatacją maszyn upoważnia do rozpatrywania własności i właściwości obiektu badań jako procesów stochastycznych $w(\tilde{t}, t)$, gdzie \tilde{t} - czas "mikro", t - czas "makro".

Można rozumieć cechy stanu jako cechy sygnałów uwarunkowanych wyłącznie swoistymi własnościami obiektu. Nie należy rozumieć cech stanu jako cech sygnałów diagnostycznych, ponieważ sygnały te uwarunkowane są między innymi stanem obiektu (a nie wyłącznie stanem obiektu).

Wyjaśnienia wymaga uwzględnianie dwóch zmiennych \tilde{t}, t w zapisie procesu stochastycznego $w(\tilde{t}, t)$. Czas \tilde{t} ma znaczenie czasu procesu stochastycznego [16] i nazywany jest czasem "mikro". Czas ten nazywany jest różnie przez różnych autorów - np. Cz. Cempel nazywa go czasem dynamicznym. Określając chwile czasu "mikro" zakłada się najczęściej jawnie lub domyślnie, że są one elementami odcinka czasu, w którym rozpatrywany proces może być uznany za stacjonarny. Czas t należy interpretować jako identyfikator realizacji procesu stochastycznego $w(\tilde{t}, t)$. Czas t nazywany jest czasem "makro". Cz. Cempel nazywa go czasem życia obiektu i czasem ewolucji rozpatrywanego procesu stochastycznego.

Należy zwrócić uwagę na zakres znaczenia pojęcia "czas". Zbiór czasu jest dowolnym, liniowo uporządkowanym przez realizację \leq zbiorem, którego

elementy nazywane są ohwilami czasu. Elementy zbioru czasu mogą mieć róż-
ne znaczenie. Elementami tymi mogą być na przykład:

- liczba godzin działania badanego obiektu od chwili jego uruchomienia,
- liczba obrotów wału badanego obiektu od chwili rozpoczęcia badań.

Szczególным przypadkiem zbioru czasu jest zbiór czasu rzeczywistego, będący zbiorem gęstym. Brak możliwości ciągłej obserwacji i rejestracji zmian badanych wielkości jest przyczyną wyróżniania dyskretnego zbioru czasu "makro", definiowanego jako ciąg ohwil czasu. Chwile czasu ξ oraz t mogą być elementami różnych zbiorów czasu.

Bezpośrednia obserwacja własności i właściwości rzeczywistego obiektu nie jest możliwa. Informacje o własnościach i właściwościach obiektu docierają do obserwatora za pośrednictwem sygnałów.

Pod pojęciem sygnału rozumie się dowolny materialny nośnik, najczęściej przebieg wielkości fizycznej umożliwiający przenoszenie informacji. Zbiór F_j sygnałów, uwarunkowanych zbiorem W_j własności i właściwości j -tego obiektu, jest zbiorem nieskończonym. Podczas badań obserwowany jest wyłącznie skończony podzbiór tego zbioru, którego elementami są sygnały $f(\xi, t)$ będące procesami stochastycznymi.

Należy stwierdzić, że każdy sygnał $f(\xi, t)$ uwarunkowany jest w ogólnym przypadku licznym zbiorem własności i właściwości obiektu, a nie jedną własnością lub właściwością. Bardzo trudną czynnością jest określenie zbioru wszystkich tych własności i właściwości rzeczywistego obiektu, które warunkują obserwowany sygnał. Obserwując sygnał $f(\xi, t)$ oraz uwzględniając wyłącznie k -ty podzbiór $W_{j,k}$ zbioru własności i właściwości nie można zakładać, że ten podzbiór jest zbiorem wszystkich własności i właściwości, których zmiany są przyczyną zmian sygnału. Oznacza to, że obserwowany sygnał jest uwarunkowany przez uwzględniany k -ty podzbiór $W_{j,k}$ oraz przez nieznaną k -ty podzbiór $W'_{j,k}$ własności i właściwości. Większość autorów uwzględnia ten fakt przez przyjęcie założenia, że obserwowany podczas badań przebieg wielkości fizycznej (sygnał) może być zapisany:

$$f(\xi, t) = x(\xi, t) + y(\xi, t)$$

lub

$$f(\xi, t) = x(\xi, t) \quad y(\xi, t),$$

gdzie:

- $x(\xi, t)$ - sygnał uwarunkowany wyłącznie uwzględnianym podzbiorem $W_{j,k}$
- $y(\xi, t)$ - sygnał uwarunkowany nieznanym podzbiorem $W'_{j,k}$; sygnał ten nazywany jest szumem.

Innym sposobem uwzględniania tego faktu jest przyjęcie założenia, że obserwowany zbiór sygnałów może być zapisany

$$F_{j,1} = \varphi_1(w_{j,k}),$$

gdzie:

φ_1 - operator wieloznaczny.

Dla opisanego sygnału $f(\tilde{t}, t)$ wyznacza się jego cechy. Cechami sygnału rozpatrywanego jako proces stochastyczny są oceny (estymaty) tego procesu. Zakłada się, że cecha v sygnału $f(\tilde{t}, t)$ jest funkcją czasu "makro" $v(t)$.

Należy podkreślić, że z założenia tego wynika, iż cecha sygnału jest funkcją wyłącznie czasu "makro" t i nie zależy od czasu "mikro" \tilde{t} . Do przyjęcia takiego założenia upoważnia definicja czasu "mikro", z której wynika, że chwile tego czasu są elementami odcinka czasu, w którym sygnał rozpatrywany jako proces stochastyczny może być uznany za stacjonarny.

Dla wyróżnienia tych sygnałów, które obserwowane są we wspólnym dla nich czasie "mikro", rozpatruje się je jako wielowymiarowe procesy stochastyczne. Cechy sygnałów jednowymiarowych nazywane są cechami własnymi tych sygnałów. Cechy sygnałów wielowymiarowych nazywane są cechami wzajemnymi.

W ogólnym przypadku wartościami cech mogą być liczby (estymaty punktowe) lub funkcje (estymaty funkcyjne). Najczęściej rozpatrywane są wyłącznie cechy punktowe. Wynika to z potrzeby użycia elektronicznej techniki obliczeniowej dla gromadzenia wartości cech oraz ich porównywania i nie wprowadza istotnych ograniczeń zbioru możliwych do uwzględniania wartości cech, ponieważ wszystkie cechy funkcyjne mogą być, po ich dyskretyzacji, zastępowane ciągami cech punktowych.

Założenie, iż wartościami cech są liczby nie zmienia ogólności pojęcia "cecha", wymaga jedynie w przypadku wartości nie określanych bezpośrednio ilościowo (wartości jakościowe) przyjęcia kodu umożliwiającego zapisywanie ich w postaci liczb, np.:

"jasny kolor oleju" = 1, "ciemny kolor oleju" = 3,

Dla uproszczenia zapisu wartości cech przyjmuje się uporządkowanie ich wartości. Umożliwia to zapisywanie zbioru wartości cech j -tego obiektu w chwili t w postaci wektora, który interpretowany jest jako zbiór współrzędnych punktu w m -wymiarowej przestrzeni wartości cech.

3. Sygnały wibroakustyczne w badaniach diagnostycznych

Dostępnym źródłem informacji o stanie obiektu są sygnały diagnostyczne. Wybór elementów zbioru sygnałów, które będą wykorzystywane w toku badań, stanowi pierwszy krok w postępowaniu badawczym i jest równoznaczny z przyjęciem metody badań. Istnieje grupa kryteriów, umożliwiających dla zada-

nego obiektu badań oraz celu takich badań wybranie możliwie optymalnego podzbioru ze zbioru sygnałów, uwarunkowanych działaniem tego obiektu. Najczęściej stosowane kryteria to:

- a) pojemność informacyjna sygnału,
- b) łatwość rejestracji sygnału,
- c) stopień złożoności układu, przetwarzającego obserwowany przebieg zmian wielkości fizycznej na sygnał elektryczny oraz, co ma szczególne znaczenie w badaniach złożonych obiektów,
- d) możliwość rejestracji sygnału w warunkach normalnej eksploatacji obiektu bez ingerowania w jego działanie,
- e) podatność sygnału na zakłócenia.

Należy tu także stwierdzić, że zazwyczaj istotny wpływ na wybór metody badań ma dostępność niezbędnej do ich prowadzenia aparatury.

W świetle przedstawionego układu kryteriów, z dużej liczby różnych możliwych sygnałów diagnostycznych, szczególne znaczenie mają sygnały wibroakustyczne, tzn. efekty akustyczne, związane z zachodzącymi w maszynach procesami oraz drgania mechaniczne elementów maszyn.

Sygnały wibroakustyczne są sygnałami losowymi. Szczególnie istotne znaczenie ma szerokie pasmo częstotliwości tych sygnałów od wartości bliskich 0 Hz (dla drgań) do kilkunastu kHz (lub nawet MHz), co pociąga za sobą dużą pojemność informacyjną tych sygnałów. Ponadto sygnały wibroakustyczne są względnie łatwo mierzalne i nadają się do rejestracji w warunkach eksploatacyjnych. Sygnały akustyczne umożliwia uzyskanie informacji o badanym obiekcie "bezdotykowo", dzięki czemu może być z powodzeniem stosowany w badaniach obiektów, do których bezpośredni dostęp jest utrudniony, (np. z powodu wysokiej temperatury, ruchu badanych elementów maszyny itp.).

W stosowaniu sygnałów akustycznych w badaniach diagnostycznych maszyn napotyka się jednak na szereg istotnych ograniczeń. Jedno z najważniejszych związane jest z oddaleniem punktu obserwacji sygnału od jego źródła. Powoduje to znaczne narażenie takiego sygnału na losowe zakłócenia, związane z warunkami otoczenia oraz przede wszystkim, że skutkami istnienia zewnętrznego pola akustycznego wokół badanego obiektu.

Istotną wadą sygnałów akustycznych z punktu widzenia badań, w których dąży się nie tylko do stwierdzenia występowania w obiekcie określonych zdarzeń, ale także do zlokalizowania miejsca ich występowania, jest wymieszanie sygnałów akustycznych z różnych źródeł w punkcie pomiarowym. Sygnał akustyczny jest wykorzystywany w badaniach praktycznie wyłącznie wtedy, gdy w badanym obiekcie występuje jedno (ewentualnie jedno istotnie dominujące) źródło takiego sygnału lub gdy dysponujemy przesłankami, pozwalającymi rozdzielić efekty różnych źródeł na etapie analizy sygnału. Warunkiem uzyskania wiarygodnych wyników w tego typu badaniach jest pomijalnie mały wpływ tzw. tła (czyli zakłóceń zewnętrznych).

Wtedy, gdy dopuszczalne jest mocowanie czujników w odpowiednich miejscach badanego obiektu, bardzo dobre efekty w zastosowaniu do badań typu

diagnostycznego dają sygnały drganiowe. W przypadku badań drgań zazwyczaj łatwiej możemy określić lokalizację w badanym obiekcie źródła obserwowanego sygnału. Sygnały te nie są także, w stopniu takim jak sygnały akustyczne, podatne na zakłócenia.

Sygnały akustyczne nadają się więc szczególnie do prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych (gdy wpływ tła może być maksymalnie ograniczony) lub w tych przypadkach, gdy moc akustyczna badanego obiektu w sposób istotny przewyższa wszelkie możliwe zakłócenia w miejscu prowadzenia badań, podczas gdy w pozostałych przypadkach zalecane jest wykorzystanie sygnałów drgań - związane jednak z istotnymi niedogodnościami, wynikającymi z konieczności mocowania czujników drgań do badanego obiektu. Zazwyczaj czujniki są mocowane do drgającego obiektu przy wykorzystaniu magnesów albo też, co jest konieczne przy uwzględnianiu składowych sygnału o wyższych częstotliwościach - są do tego obiektu przykręcane lub klejone.

Wstępnym warunkiem wyznaczania cech sygnałów w badaniach jest, przy stosowanych obecnie technikach pomiarowych, przetworzenie przebiegu zmian wielkości fizycznej na sygnał elektryczny. Wiąże się to z zastosowaniem odpowiednich czujników (przetworników sygnału), takich jak:

- a) dla sygnałów akustycznych - mikrofony, dobrane odpowiednio do celu badań (np. ze względu na tzw. charakterystykę kierunkową);
- b) dla pomiaru drgań - czujniki o odpowiedniej konstrukcji i masie (ze względu na jej wpływ na postać drgań obiektu).

Wybór czujników pomiarowych w badaniach sygnałów akustycznych i drganiowych jest o tyle ułatwiony, że istnieją gotowe zalecenia wytwórców tych czujników zawierające praktycznie wszelkie niezbędne dane odnośnie do zakresów pomiarowych, warunków działania, sposobu mocowania itp. Typ czujnika drgań i sposób jego mocowania dobierane są ze względu na pasmo częstotliwości badanego sygnału. Istotne znaczenie ma tu mierzona wielkość fizyczna, charakteryzująca ruch drgający (przemieszczenie, prędkość lub przyspieszenie) i determinująca uwzględniany zakres częstotliwości sygnału:

- przemieszczenie: częstotliwości niskie,
- prędkości: częstotliwości średnie,
- przyspieszenia: częstotliwości wysokie.

Wykorzystując związki pomiędzy tymi wielkościami, zazwyczaj do pomiaru przemieszczeń i prędkości można stosować czujniki przyspieszeń wraz z odpowiednimi układami całkującymi. Jest to spowodowane szczególnie korzystnymi cechami czujników przyspieszeń, a zwłaszcza ich stabilnością i małą masą (czujniki piezoelektryczne). Niedogodnością takiego rozwiązania jest obarczenie wyników pomiarów przemieszczeń i prędkości dodatkowym błędem związanym z koniecznością całkowania sygnału.

Podjmując decyzję o wykorzystywaniu sygnałów akustycznych lub sygnałów drgań należy zwracać uwagę, że każdy rodzaj postępowania badawczego,

z wykorzystaniem dowolnego typu nośników informacji wymaga założenia "a priori", że pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w obiekcie badań i stanowiącymi przedmiot zainteresowania zewnętrznego obserwatora a nośnikiem informacji (sygnałem) istnieje związek o charakterze relacji przyczynowo-skutkowej. Ponieważ, co podkreślono poprzednio, sygnały wibroakustyczne mają charakter sygnałów losowych, wykorzystanie ich wiąże się z koniecznością weryfikacji tezy o omawianej relacji przyczynowo - skutkowej dokonywanej przez równoczesne uwzględnianie sygnałów o odmiennej strukturze, które umożliwiają niejako "dwutorowe" rozpoznawanie własności i właściwości badanego obiektu.

3.1. Sygnał a stan obiektu badań

Podstawowe problemy w zakresie projektowania układów diagnozujących związane są z metodami wnioskowania o relacjach pomiędzy cechami sygnałów i stanem obiektu badań. Złożoność obiektów rozpatrywanych jako źródła sygnałów powoduje, że bezpośrednio przewidywanie tych relacji jest zazwyczaj z góry skazane na niepowodzenie. Cechą charakterystyczną większości prac z tego zakresu jest przyjmowanie pewnego modelu relacji i badanie istotności przyjętego modelu lub poszukiwanie zależności funkcyjnych pomiędzy ocenami sygnałów i stanem obiektu. Taki sposób postępowania zmusza do indywidualnego rozpatrywania różnych układów: obiekt badań - oceny sygnałów i powoduje, że osiągnięcie zadawalających wyników badań jest w dużym stopniu zależne od intuicji badacza.

Istnieje wiele prac, których autorzy podejmują próby wykorzystania, dla wyznaczania tych relacji, modeli strukturalnych, tzn. modeli odwzorowujących strukturę maszyny i wzajemne oddziaływanie jej elementów. Modele takie umożliwiają skuteczne wnioskowanie o rodzaju wielkości fizycznych, których zmiany powinny być obserwowane podczas badań jako sygnały diagnostyczne, tzn. sygnały zależne od stanu obiektu, o rodzaju cech tych sygnałów, które prawdopodobnie są wrażliwe na zmiany stanu obiektu, o zalecanej lokalizacji czujników (przetworników) pomiarowych oraz o wymaganych warunkach działania obiektu podczas badań. Podczas określania takich modeli istnieje konieczność przyjmowania bardzo dużej liczby założeń upraszczających. Bezpośrednim skutkiem uproszczeń jest często mała zgodność wniosków o relacjach pomiędzy ocenami sygnałów diagnostycznych i ocenami stanu obiektu wyznaczonych na podstawie analizy modeli, z wnioskami o tych relacjach wyznaczonymi na podstawie eksperymentów.

Podczas badań, wykorzystujących modele strukturalne odwzorujące oddziaływanie elementów obiektu badań, istnieje potrzeba identyfikacji źródła lub źródeł obserwowanych sygnałów wibroakustycznych, co wymaga pewnej klasyfikacji źródeł sygnałów i sygnałów. Wyróżnia się pierwotne i wtórne źródła sygnałów. Źródło sygnałów uznawane jest jako źródło pierwotne, jeżeli zmiany zachodzące w tym źródle są pierwotnymi przyczynami zmian wielkości

fizycznej rozpatrywanej jako sygnał. Źródłami wtórnymi są źródła będące skutkami oddziaływań źródeł pierwotnych.

Pojęcie pierwotnych i wtórnych źródeł sygnałów w obiekcie badań jest o tyle względne, iż zależy od celu tych badań. Przykładem sygnału "pierwotnego" może być efekt akustyczny, związany z procesami plazmowymi w elektrycznym piecu łukowym. Sygnał ten jest traktowany jako pochodzący ze źródła "pierwotnego", jeżeli przedmiotem obserwacji jest właśnie proces plazmowy. Sygnałem "wtórnym" są tu drgania otaczającego pieca osrodka gazowego, wywołane drganiami obudowy pieca, które z kolei wywoływane są między innymi przez udarowe oddziaływania związane z erupcjami plazmy w komorze pieca. Jest rzeczą oczywistą, że ze względu na potencjalnie mniejszy wpływ zakłóceń informacyjnych sygnały "pierwotne" są z reguły bardziej interesujące dla obserwatora. Jednakże w przeważającej liczbie przypadków sygnały takie, o ile występują, są "zmieszane" z sygnałami o charakterze wtórnym i zazwyczaj nie można ich wyodrębnić.

Przykładem trudności związanych z wykorzystywaniem modeli strukturalnych mogą być badania łożysk tocznych. Modele opisujące dynamiczne oddziaływanie elementów łożysk upoważniają między innymi do rozpatrywania łożysk jako źródeł drgań, których częstotliwości są zależne od warunków działania łożysk oraz od stanu powierzchni bieżni pierścieni i elementów tocznych. Modele działania łożysk umożliwiają wyznaczenie tych częstotliwości. Na podstawie badań prowadzonych w IPKM Politechniki Śląskiej należy stwierdzić, że podczas badań łożysk trudno uzyskać potwierdzenia wniosków o związku uszkodzeń powierzchni bieżni i elementów tocznych z występowaniem w widmie drgań składowych o przewidywanych częstotliwościach.

Ocenianie stanu maszyn na podstawie ocen sygnałów diagnostycznych może być realizowane w różnym stopniu szczegółowości. Spotykane obecnie układy diagnozujące są najczęściej układami umożliwiającymi sprawdzenie, czy wybrane cechy sygnałów diagnostycznych przekraczają przyjęte wartości krytyczne i umożliwiają, na podstawie zaobserwowanych przekroczeń, wnioskowanie o prawdopodobnym wystąpieniu stanu krytycznego wymagającego, dla uniknięcia awarii badanej maszyny, przeprowadzenia jej szczegółowych badań, przeglądu lub remontu. Brak jest ogólnie uznawanych metod wyznaczenia krytycznych wartości tych sygnałów. Najczęściej są one przyjmowane w wyniku arbitralnych rozstrzygnięć.

Powyższe uwagi przedstawiono w celu uzasadnienia wniosku, iż modele maszyn odwzorowujące ich strukturę i oddziaływania elementów nie mogą stanowić wyłącznej podstawy wnioskowania o relacjach pomiędzy cechami sygnałów diagnostycznych i cechami stanu maszyny. Dla rozwiązania problemu można wykorzystać systemowy model obiektu, którego istotą jest traktowanie maszyny będącej obiektem badań jako "czarnej skrzynki" bez wnikania w jej strukturę. Maszyna będąca "czarną skrzynką" rozpatrywana jest jako układ względnie odosobniony, tzn. układ wyodrębniony myślowo z otoczenia, taki

ze oddziaływanie otoczenia na układ odbywa się wyłącznie za pośrednictwem wejść układu oraz zbiorów wejść układu i zbiorów wyjść układu są zbiorami rozłącznymi.

Elementem wyjścia maszyny może być każde jej oddziaływanie na otoczenie bez względu na to, czy oddziaływanie to jest celem działania maszyny, czy też jest skutkiem jej działania (np. hałas, drgania).

Wejście i wyjście maszyny obserwowane są podczas badań za pośrednictwem sygnałów. Dla sygnałów tych można wyznaczać bardzo dużą liczbę różnych cech. Cechy te mogą być rozumiane jako cechy wejścia i wyjścia obiektu. Liczba uwzględnianych cech jest ograniczona możliwościami rejestracji ich wartości podczas badań.

Dla opisywania związków pomiędzy wejściem i wyjściem obiektu wykorzystuje się pojęcie systemu obiektu jako relacji określonej na iloczynnie kartezjańskim przestrzeni wartości wejść i przestrzeni wartości wyjść maszyny. Z założenia, że działanie układu diagnozującego ma być dobrane odpowiednio do własności i właściwości zbioru maszyn wykonanych wg wspólnej dla nich konstrukcji wynika konieczność modelowania zbioru obiektów a nie jednego wybranego obiektu. Analizując własności maszyn stwierdzono, że najczęściej system zbioru obiektów badań nie jest systemem przyczynowo - skutkowym, co uzasadnia wprowadzanie opisu działania obiektu w postaci relacji rozmytych pomiędzy wejściem, wyjściem i stanem maszyny.

3.2. Lokalizacja punktów pomiarowych

Złożonym problemem związanym z obserwacją wejść i wyjść obiektu badań jest wybór liczby i lokalizacji punktów pomiarowych. Wyniki prac badawczych dowodzą, że zarówno dla sygnałów drganiowych, jak i, w szerególnym stopniu w warunkach zakłóconego pola akustycznego, dla sygnałów akustycznych prawidłowa lokalizacja punktów rejestracji sygnałów ma decydujące znaczenie dla dalszego toku badań.

W badaniach prowadzonych w warunkach normalnej eksploatacji obiektu, takie czynniki jak np. duże wymiary gabarytowe obiektu lub jego lokalizacja w ciągu technologicznym ograniczają możliwości wyboru punktów pomiarowych. Można stwierdzić, że znalezienie optymalnego w danych warunkach położenia punktu lub punktów pomiarowych jest przeważnie możliwe jedynie na drodze eksperymentalnej.

Dla badań wykorzystujących sygnały akustyczne, a w pewnej mierze także drganiowe, punkt wyjścia dla eksperymentalnego określenia rozmieszczenia punktów pomiarowych stanowią zazwyczaj ogólne warunki lokalizacji badanego środka technicznego w jego pomieszczeniu. Jako kryterium optymalizacji, które pozwala zweryfikować zaproponowane wstępnie położenie punktu pomiarowego, należy wykorzystywać cel badań. Na przykład w badaniach diagnostycznych, w których badacza interesują określone oceny sygnału (dominaty widma), punkt pomiarowy jest tak dobrany, by zapewniał niezakłócone występowanie tych dominat w widmie sygnału.

Z kolei w pomiarach drgań, mających na celu identyfikację stanu określonego podzespołu badanej maszyny, należy dążyć do umieszczenia czujnika drgań jak najbliżej źródła tych drgań.

Poza wyborem punktu pomiarowego, zwłaszcza podczas obserwowania sygnałów drgań, do decyzji badacza pozostaje wybór kierunku, w którym mierzone będą przebiegi zmian obserwowanej wielkości fizycznej drgającego obiektu. Istotne znaczenie w doborze poszczególnych elementów metodyki pomiaru drgań mają specyficzne cechy obiektu badań, takie jak np. względne sztywności podpór łożyskowych i masa drgającego obiektu w przypadku maszyn z elementami wirującymi, których wpływ na metodę badań omawia szczegółowo [1].

Istnieje znaczna liczba opracowań, w tym także aktów o charakterze normatywnym (np. PN-71/N-01300) określających położenie punktów pomiarowych zarówno w badaniach sygnałów akustycznych, jak i w badaniach drgań. Można stwierdzić, że szereg normatywnych zaleceń w tym zakresie jest nie do zastosowania w badaniach diagnostycznych. Częstym błędem jest bezpośrednie stosowanie w badaniach, wykorzystujących sygnał akustyczny dla potrzeb diagnostycznych, zaleceń, dotyczących rozmieszczenia czujników pomiarowych (mikrofonów) podczas określania emitowanej przez obiekt mocy akustycznej. Takie rozmieszczenie punktów pomiarowych, stosowane w badaniach o charakterze egonomicznym, jest z reguły całkowicie bezużyteczne w badaniach diagnostycznych. Klinicznym przypadkiem takiego zalecenia jest dla badań akustycznych wymóg rozmieszczenia punktów pomiarowych na czaszy kulistej, otaczającej badany obiekt.

Można sformułować pewne ogólne zasady lokalizacji punktów pomiarowych w badaniach diagnostycznych metodami wibroakustycznymi. W badaniach takich o lokalizacji punktu lub punktów pomiarowych decydują:

1. Metoda badań

W badaniach prowadzonych metodą porównawczą można zazwyczaj wykazać zasadność pomiaru sygnału wibroakustycznego w jednym punkcie pomiarowym z zastrzeżeniem, że znany jest charakter źródła tego sygnału w badanym obiekcie. W badaniach wykorzystujących modele strukturalne obiektów oraz w badaniach podzespołów złożonych układów należy dążyć, jak to sygnalizowano już powyżej, do maksymalnego zbliżenia czujników do źródeł drgań. Dążenie do zmniejszenia zakłóceń na drodze: źródło drgań - czujnik jest głównym powodem, dla którego np. firma SKF zaleca przy badaniach drgań łożysk wiercenie w obudowie łożyska otworu, w którym umieszczona jest wiązka stalowych pręcików dotykających pierścienia łożyska. Z drugiej strony wiązki mocowany jest czujnik.

W badaniach wykorzystujących rozmyte modele systemowe obiektu badań należy dążyć do stosowania (zwłaszcza podczas wstępnej fazy badań) możliwie dużej liczby różnych punktów pomiarowych, których lokalizacja wynikać powinna głównie z warunku minimalizacji wpływu sygnałów nie związanych z działaniem obiektu badań.

2. Ograniczenia

Należy uwzględnić postać i wymiary obiektu badań oraz jego lokalizację w ciągu technologicznym. Podczas obserwowania sygnałów akustycznych należy mieć na uwadze warunki propagacji fali akustycznej w pomieszczeniu, w którym znajduje się badany obiekt oraz charakter pola akustycznego wokół tego obiektu. Ponadto należy rozpatrzyć techniczne możliwości lokalizacji punktów pomiarowych i rejestracji obserwowanych sygnałów, co niejednokrotnie w sposób zasadniczy ogranicza możliwość wyboru liczby i położenia punktów pomiarowych, a równocześnie może narzucać prowadzącemu badania określone elementy metody badań.

3. Jednoznaczność lokalizacji

Duże znaczenie w badaniach diagnostycznych (prowadzonych najczęściej wielokrotnie) ma powtarzalność lokalizacji czujnika (punkt, kierunek).

LITERATURA

- [1] Cempel Cz.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. Część II (maszynopis autorski). Poznań 1980.
- [2] Chodasewicz W.: Metoda oceny wzbudzenia drgań tarczy pily na podstawie analizy sygnału akustycznego. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Politechniki Śląskiej, Gliwice 1979.
- [3] Cholewa W.: Metoda oceny sygnału akustycznego przekładni zębatych dla badań konstrukcyjnych. Praca doktorska, Zeszyt 22/56 IPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1974.
- [4] Cholewa W. i inni: Cyfrowa rejestracja ocen sygnałów w badaniach maszyn metodami akustycznymi. Część I - Układ aparatury. Część II - Opis programów (maszynopis niepublikowany), IPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1978.
- [5] Cholewa W.: Metoda wyznaczania testów diagnostycznych w wibroakustycznych badaniach maszyn. Część I (maszynopis niepublikowany), IPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1979.
- [6] Dietrych J., Jaskóła Z., Makomaski M.: Ocena stanu przekładni zębatych metodami akustycznymi na tle badań w cementowni "Warszawa", Zeszyt 27 Katedry OPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1969.
- [7] Dietrych J., Jaskóła Z., Makomaski M.: Charakterystyki częstościowe i funkcja korelacji w metodzie oceny konstrukcji i stanu przekładni zębatych. Zeszyt 30 Katedry OPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1969.
- [8] Dziedzic St.: Wpływ postaci zazębienia na zjawisko wchodzenia zębów w przypór. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1979.
- [9] Giemza H.: Widmo akustyczne a struktura zewnętrzna w działaniu zazębienia na przykładzie konstrukcyjnych badań przekładni zębatych. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl. Gliwice 1979.
- [10] Jaskóła Z.: Analiza akustyczna wpływu cech konstrukcyjnych przekładni zębatych. Praca doktorska, Zeszyt 21 Katedry OPKM Pol. Śl. Gliwice 1966.
- [11] Jaskóła Z.: Własności akustyczne przekładni zębatych w świetle analizy akustycznej. Zeszyt 23 Katedry OPKM Pol. Śl. Gliwice 1967.
- [12] Kaźmierczak J.: Niestacjonarny sygnał akustyczny jako nośnik informacji o działaniu elektrostalowniczego pieca łukowego. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl., Gliwice 1980.

- [13] Kulczycki Sz.: Metoda doświadczalnych badań konstrukcyjnych pił tarzowych z uwzględnieniem kryterium hałasu. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl., Gliwice 1980.
- [14] Kurowicz M.: Metoda badania wpływu cech geometrycznych kół zębatych na rozkład obciążenia wzdłużnego odcinka przyporu. Praca doktorska (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl., Gliwice 1979.
- [15] Makomaski M.: Badania wpływu cech konstrukcyjnych przekładni zębatych na charakterystyki probabilistyczne efektu akustycznego. Praca doktorska, Zeszyt 4/38 IMiPIKM Pol. Śl., Gliwice 1972.
- [16] Papoulis A.: Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne. WNT, Warszawa 1972.
- [17] Praca badawcza: Badania skutecznego zabezpieczenia załogi przed skutkami nadmiernego hałasu przy piecach łukowych 50t. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1973-1976, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [18] Praca badawcza: Ocena własności elektrod metodami akustycznymi. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1975-1978, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [19] Praca badawcza: Opracowanie założeń do dokumentacji technicznej wyciszenia hałasu pieców elektrycznych. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1975 - 1979, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [20] Praca badawcza: Akustyczne metody badania cech konstrukcyjnych stalowniczych pieców łukowych. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1976-1980, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [21] Praca badawcza: Wyciszenie hałasu pił tarzowych na wydziale Walcowni Dużych Huty im. T. Kościuszki w Chorzowie. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1977-1979, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [22] Praca badawcza: Opracowanie systemu akustycznej diagnostyki sprzęzarek - koncepcja systemu diagnostyki stanu maszyn, IPKM Pol. Śl., Gliwice 1977-1980, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [23] Praca badawcza: Metoda wibroakustycznej diagnostyki stanów przeduszkodzeniowych wysokoobrotowych elementów maszyn włókienniczych. IPKM Pol. Śl., Gliwice 1978-1981, sprawozdania etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [24] Praca badawcza: Ocena stanu maszyn metodami akustycznymi. Etap I: Metoda opisu obiektu dla potrzeb badań diagnostycznych, IPKM Pol. Śl., Gliwice 1981, sprawozdanie etapowe (maszynopis niepublikowany).
- [25] Praca zbiorowa: Metoda ADS/1 wibroakustycznej diagnostyki sprzęzarek dla określenia terminu remontu (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl., Gliwice 1980.
- [26] Praca zbiorowa: System programów automatycznego wnioskowania w badaniach diagnostycznych SPAW. Instrukcja obsługi (maszynopis niepublikowany), IPKM Pol. Śl., Gliwice 1980.
- [27] Praca zbiorowa: Zestaw opisów i instrukcji obsługi programowanych analizatorów sygnałów PAS3 i PAS4 (maszynopis niepublikowany). IPKM, Pol. Śl., Gliwice 1980-1981.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Czesław Cempel

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1982 r.

ВИБРАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТА
ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Р е з ю м е

Настоящая работа является попыткой общего представления проблем связанных с наблюдением и описанием объектов при диагностических исследованиях машины. Кроме практических рекомендаций, касающихся выбора и размещения измерительных датчиков при исследованиях этого типа, в работе представлены тоже общие рассуждения из области метода диагностических исследований. Основой для проведенных обобщений являются эксперименты взятые из научных работ проведенных на кафедре Основ конструкции машин Силезского политехнического института.

THE VIBROACOUSTIC METHODS OF THE OBSERVATION
OF AN OBJECT IN DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS

S u m m a r y

This work is an attempt at general presentation of some problems connected with observing and describing objects for the needs of the so-called diagnostic investigations of machines. Besides some practical pieces of advice concerning selection and localizations of gauges (indicators) some general considerations referring to methods of diagnostic investigations are included in the work as well.

The experiments, which were carried out in the Institute of Fundamentals of Machine Design, Silesian Technical University in Gliwice, are the main base for the presented generalizations.