

MODEL SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO UMOŻLIWIAJĄCEGO DETEKCJĘ NAGŁYCH ZMIAN STANU WYBRANEGO ŚRODKA TECHNICZNEGO

Streszczenie: W artykule zaprezentowano metody zastosowane w modelu systemu diagnostycznego przeznaczonego do detekcji nagłych zmian stanu. Omówiono zastosowane metody detekcji oraz przedstawiono wnioski wynikające z weryfikacji systemu, za pomocą sygnałów wygenerowanych oraz sygnałów pochodzących z laboratoryjnej maszyny wirnikowej Rotor Kit.

1. WSTĘP

Detekcja nagłych zmian stanu jest możliwa i celowa jedynie za pomocą metod diagnozujących urządzenie w sposób ciągły. Metody te stanowią podstawę działania układów diagnostycznych nadzoru maszyn (np. dużych turbin parowych).

Nowoczesna diagnostyka techniczna opiera się głównie na systemach komputerowych opracowanych przeważnie przez firmy zachodnie, będące potentatami w tej dziedzinie. Są to programy wysoce wyspecjalizowane przeznaczone do diagnozowania rodzin środków technicznych w sposób ściśle ustalony. W tym opracowaniu autor proponuje rozwiązanie alternatywne – program działający w środowisku MatLab umożliwiający wykrywanie nagłych zmian stanu za pomocą wybranych metod detekcji oraz informujący użytkownika o ich ewentualnym wystąpieniu. Zastosowane rozwiązania zostały zweryfikowane, a przydatność użytych metod detekcji zostanie omówiona.

Stan maszyny jest rozumiany jako forma i poziom jej parametrów koniecznych i wystarczających do zidentyfikowania. Zakłada się, że zmiana stanu pociąga za sobą zmianę własności i właściwości maszyny oraz jakościowego i/lub ilościowego sposobu oddziaływania maszyny na otoczenie.

W diagnostyce technicznej stan maszyny jest określany na podstawie oceny mierzonych wielkości. Wielkości te mogą być parametrami procesów roboczych i/lub reszkowych. Ocena tych wielkości polega na porównaniu ich z wielkościami, dla których stan tej lub podobnej maszyny jest znany, bądź porównaniu ich z wynikami otrzymanymi z modelu matematycznego opisującego maszynę w określonym stanie. Inną metodą oceny jest oszacowanie tempa zmian zjawisk na podstawie porównania zbioru chwilowych własności cech z ułożonymi według czasu zbiorami poprzednimi. Zgodnie z przyjętym założeniem zmiana obserwowanych wielkości pociąga za sobą zmianę stanu urządzenia, więc szybkość zmiany wielkości jest wprost proporcjonalna do szybkości zmiany stanu.

Zgodnie z tym, co napisano, zmiana stanu urządzenia pociąga za sobą zmianę sposobu oddziaływania tego urządzenia na otoczenie. Jednak zmiana stanu nie powoduje zmiany wszystkich dających się obserwować wielkości (sygnałów) emitowanych przez środek techniczny. Dla potrzeb opracowania przyjęto, że w stanie pracy ustalonej, prawdziwa jest sytuacja odwrotna: zmiana dowolnego, mierzzonego i niezakłóconego sygnału, którego źródłem jest działająca maszyna, jest wynikiem jakiejś (bliżej nieokreślonej) zmiany stanu tej maszyny. Dowodu tego twierdzenia nie przeprowadzono, lecz późniejsze obserwacje potwierdzają jego prawdziwość.

Przez zmianę sygnału rozumie się zmianę jego cech ilościowych i/lub jego postaci w dziedzinie czasu. Zmiana sygnału zgodnie z powyższym założeniem oznacza zmianę stanu jego źródła.

Zmiany stanu [4], ze względu na tempo narastania można podzielić na:

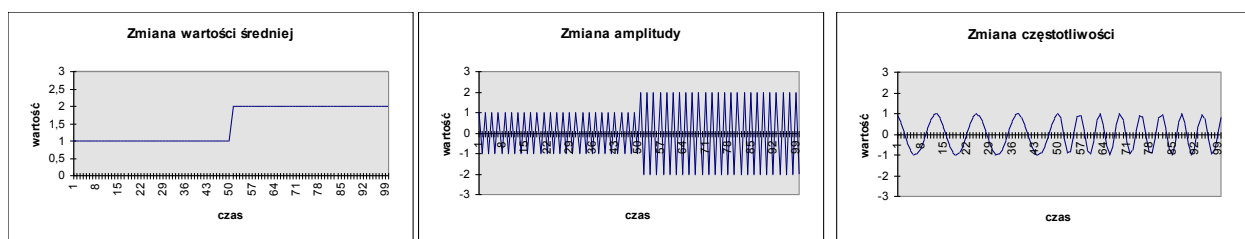
- powoli narastające - przez powoli narastające zmiany rozumie się takie zmiany, których czas narastania musi być uwzględniony w zastosowanej metodzie detekcji,
- nagle - przez nagle zmiany rozumie się takie zmiany, których czas narastania może być pominięty w zastosowanej metodzie detekcji.

Natomiast ze względu na czas występowania rozróżniamy:

- zmiany stałe - to takie zmiany stanu, których czas trwania jest nieporównywalnie większy od czasu potrzebnego na ich wykrycie,
- zmiany przemijające - to takie zmiany stanu, których czas trwania jest porównywalny z czasem potrzebnym na ich wykrycie.

Możemy wyróżnić trzy podstawowe rodzaje zmian sygnału:

- zmiany wartości średniej (Rys.1a),
- zmiany amplitudy (Rys.1b),
- zmiany częstotliwości (Rys.1c).



Rys. 1 Rodzaje zmian stanu.

Detekcja nagłych zmian stanu napotyka na szereg przyczyn ją utrudniających. Powodują one, że metody detekcji zmian stanu są mniej efektywne, a niektóre niemożliwe do zastosowania. Należy, więc uwzględnić następujące czynniki:

- Sygnał przeważnie zawiera addytywny szum.

Jeżeli stosunek mocy sygnału do mocy szumu jest mniejszy to wyciąganie wniosków na podstawie takiego sygnału jest trudniejsze. Wynika to z faktu, że sygnał zawierający szum o dużej mocy (P_S) niesie ze sobą mniej informacji od sygnału o mocy (P_N), w którym moc szumu (P_S) jest mała. Zależność opisuje wzór:

$$I = \Delta f \cdot T \cdot \lg_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \quad (1)$$

- Nagłe zmiany stanu mogą być przemijające.

Jeżeli czas trwania zmienionego stanu jest krótki, to wykrycie takiego stanu jest trudniejsze. W przypadku, gdy czas trwania zmienionego stanu byłby dostatecznie krótki, zmiana ta pozostałaby niewykryta przez zastosowaną metodę detekcji (poszczególne metody mają różne zdolności wykrywania takich zmian).

- Czas pomiędzy zmianą stanu, a jej wykryciem powinien być jak najkrótszy.

Ze względu na bezpieczeństwo, jakie niesie pozostawanie maszyny lub procesu w zmienionym stanie (stanie innym niż prawidłowy) powinien on być jak najszybciej wykryty. Stosując to kryterium metoda pozwalająca wykryć zmianę stanu w najkrótszym czasie jest najlepsza.

- Nagłe zmiany stanu są niezmiernie trudne do przewidzenia.

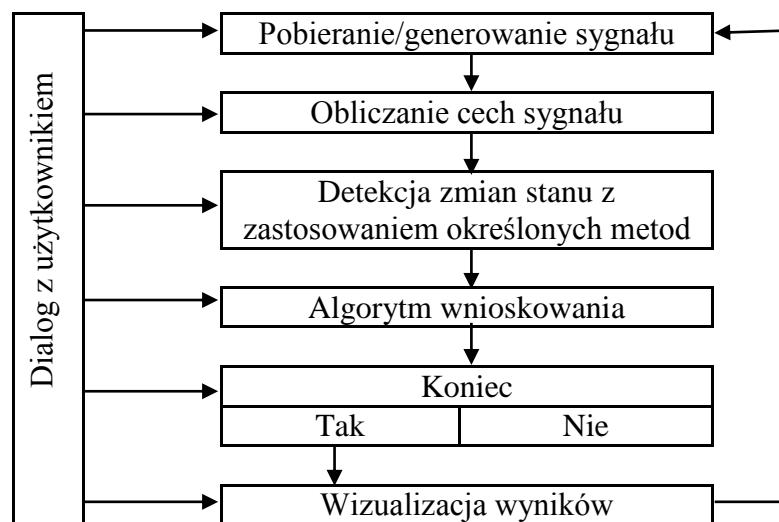
Trudność przewidzenia nagłej zmiany stanu jest spowodowana brakiem wcześniejszych symptomów nadchodzenia takiej zmiany.

2. SYSTEM DIAGNOSTYCZNY

Na metodę detekcji składają się algorytmy analizujące i wnioskujące wraz ze swoimi parametrami oraz wielkość, jakie będą one analizowały. Parametrami algorytmu są wszystkie wielkości liczbowe niezbędne do jego prawidłowego działania, w szczególności są nimi długości okien czasowych, wartości progów itd.

Problem badawczy postawiony w pracy polega na wyborze metod detekcji i sprawdzeniu ich przydatności do wykrywania nagłych zmian stanu. Wynikiem właściwego doboru metod jest system diagnostyczny o zdolności wykrywania wielu typów zmian stanu, wysokim stopniu pewności detekcji zmian, wykrywający zaistniałą zmianę możliwie szybko.

Wybór takich algorytmów i określenie ich parametrów nie jest zadaniem łatwym. Trudności wynikają między innymi z faktu, że nagle zmiany stanu mogą być wywołane różnymi czynnikami, a więc mogą być różnego typu, cechować się różną wartością zmiany, jak i czasem jej wystąpienia. Trudny jest również taki dobór ocenianych cech sygnałów, by były one „czułe” na zaistniałą zmianę.



Rys. 2 Struktura systemu diagnostycznego

Jak widać na powyższym schemacie, system diagnostyczny ma strukturę modułową. Składa się z modułu pobierającego lub generującego sygnał, przy czym pobieranie sygnału może odbywać się z pliku tekstowego w trybie pracy offline lub z przetwornika analogowo-cyfrowego przy pracy online. W sygnale generowanym symulowane są różne typy zmian stanu.

Kolejnym modułem jest moduł obliczający cechy sygnału. Funkcja ta przekazuje wyliczone wartości cech do modułu detekcji nagłych zmian stanu. Moduł detekcji informuje moduł wnioskujący o wykryciu lub nie wykryciu zmiany stanu. Ponieważ, każdą cechę sygnału analizowano taką samą liczbą metod detekcji, ilość informacji, jakie otrzyma funkcja wnioskująca w jednym kroku algorytmu zgodnie ze wzorem (2) jest równa iloczynowi obliczonych cech sygnału i zastosowanych metod detekcji. Moduł ten na ich podstawie wyciąga jeden spójny wniosek o zmianie stanu i będzie informował o nim użytkownika.

$$l = n \cdot m, \quad (2)$$

gdzie:

- l - liczba informacji otrzymanych przez moduł wnioskujący,
- n - liczba cech sygnału,
- m - liczba metod detekcji.

Moduł dialogu z użytkownikiem pobiera podane przez obsługę parametry programu takie jak długości okien czasowych, wartości progów i przekazuje je do odpowiednich modułów programu. Służył on także do uruchamiania i zatrzymywania pracy programu. Wizualizacja wyników odbywa się w postaci wykresów przebiegów czasowych wielkości ocenianych z zastosowaniem wybranych metod detekcji.

3. WYBÓR ELEMENTÓW STRUKTURY MODELU SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO

W rozdziale tym zostanie omówiony wybór poszczególnych elementów struktury modelu systemu diagnostycznego. Określone zostaną: sygnały pomiarowe, obliczane cechy tych sygnałów, metody detekcji i metoda wnioskowania zastosowana w programie.

Wybór mierzonych wielkości fizycznych uzależniony jest głównie od budowy i przeznaczenia diagnozowanego obiektu. Wybór powinien być również uzależniony od indywidualnych warunków pracy urządzenia np. niewskazany jest pomiar hałasu gdy w pobliżu znajduje się inne silne źródło dźwięku.

Jednym z podstawowych kryteriów przy ocenie metody detekcji nagłych zmian stanu jest szybkość wykrycia zmiany stanu. Aby czas od wystąpienia do wykrycia zmiany stanu był możliwie krótki konieczny jest dobór wielkości fizycznych reagujących szybko zmianą swojego przebiegu czasowego na zaistniałą zmianę. Przykładem niewłaściwego wyboru jest pomiar temperatury obudowy urządzenia, gdyż znaczący wzrost temperatury obudowy będzie obserwowany po długim czasie od zmiany stanu. Istotnym zagadnieniem jest również właściwa lokalizacja czujników – powinny być one zamontowane w pobliżu źródła sygnału, jaki będą mierzyły, zmniejsza się w ten sposób wpływ zakłóceń.

Zdecydowano się na badanie przebiegów czasowych trzech cech mierzonego sygnału: wartości chwilowej, wartości skutecznej i liczby serii w oknie czasowym. Badanie wartości chwilowej sygnału jest najprostsze, gdyż nie wymaga żadnych dodatkowych obliczeń. W tym przypadku dalszemu badaniu są poddawane wartości spróbkowane przez przetwornik analogowo-cyfrowy. Zaletą tej cechy jest brak opóźnień spowodowanych koniecznością posiadania większej od jednej liczby próbek sygnału w celu obliczenia wartości cechy.

Wartość skuteczna [4] jest amplitudową i bezwymiarową cechą (dyskryminantą) sygnału. W przypadku sygnału dyskretnego w dziedzinie czasu wartość skuteczna wyraża się wzorem:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=t-T}^t x_i^2}, \quad (4)$$

gdzie:

- i - numer próbki
- x_i - wartość i-tej próbki sygnału
- t - numer próbki, na której zakończono estymację cechy
- T - liczba próbek estymowanych

Wartość skuteczna bardzo dobrze odzwierciedla przebieg sygnału. Reaguje na zmianę wartości średniej lub amplitudy sygnału zmianą swojej wartości średniej. Wadą tej cechy jest konieczność jej wyliczania oraz fakt, że reaguje ona na zmiany przebiegu sygnału z opóźnieniem T.

Wartość skuteczna reaguje na podobne typy zmian, jakie można wykryć na podstawie analizy wartości chwilowej, tj. zmianę wartości średniej i zmianę amplitudy. Jej zastosowanie w modelu systemu diagnostycznego ma na celu porównanie przydatności wymienionych dyskryminant do wykrywania nagłych zmian stanu.

Trzecią cechą sygnału jest liczba serii w oknie czasowym. Jest ona o jeden większa od liczby przejść wartości sygnału przez wartość średnią w oknie czasowym, może więc

przyjmować tylko wartości naturalne dodatnie. Cecha ta nie była stosowana w żadnym znanym autorowi systemie diagnostycznym, ani nie została opisana w żadnym opracowaniu. Zdaniem autora będzie ona reagowała zmianą swojej wartości średniej na zmianę częstotliwości sygnału oraz na wystąpienie trendu, gdyż takie zmiany sygnału powodują zmianę liczby przejść wartości sygnału przez wartość średnią w oknie czasowym.

$$I_{serii} = n + 1, \quad (5)$$

gdzie:

n - liczba przejść wartości sygnału przez wartość średnią w oknie czasowym

Na wybór tej cechy zdecydowano się z uwagi na fakt niestosowania analizy widmowej w systemie diagnostycznym.

Najbardziej korzystne jest zastosowanie jednocześnie kilku metod do detekcji nagłych zmian stanu. Takie postępowanie pozwala skrócić czas od wystąpienia zmiany stanu do jej wykrycia, gdyż poszczególne metody są ukierunkowane na wykrywanie różnych typów zmian. Zastosowanie więcej niż jednej metody zwiększa również pewność detekcji. Rodzą się jednak pytania: czy zmiana stanu nastąpiła, gdy jedna z zastosowanych metod wykryła ją, a pozostałe nie?, czy poszczególne metody detekcji są jednakowo wiarygodne?

Zdaniem autora najszybsza i najpewniejsza detekcja nagłych zmian stanu jest możliwa przy zastosowaniu prostych metod, tj. metody przekroczeń granicznych i metody śledzenia trendu. Ze względów badawczych zdecydowano się na wybór czterech metod: metody kontroli przekroczeń granicznych, metody kontroli przekroczeń granicznych średniej bieżącej, oraz dwóch metod śledzenia trendów: metody współczynnika korelacji rangowej Spearmana i metody analizy współczynnika funkcji aproksymującej. Metody detekcji opisane są w pracach: [1], [5], [10].

Zdecydowano się na detekcję zmiany stanu na podstawie trzech cech sygnałów. Przebieg czasowy każdej z cech zostanie poddany analizie za pomocą czterech metod detekcji. Wynikiem analizy każdej z metod jest wykrycie lub niewykrycie zmiany stanu. W zastosowanym systemie wniosek wynikający z analizy jest dwustanowy: TAK wystąpiła zmiana stanu lub NIE nie wystąpiła zmiana stanu. Może on być traktowany jako opinia eksperta, gdyż metody detekcji nie są od siebie zależne. Istotny jest fakt, że nie jest to opinia rozmyta.

Efektom analizy trzech cech sygnału za pomocą czterech metod detekcji jest, więc dwanaście jednoznacznych, niezależnych i niekoniecznie jednakowych wniosków. Sytuacja ta jest niekorzystna, gdyż daje niejasny obraz sytuacji obsłuzce, na podstawie, którego trudno jest szybko i właściwie ocenić stan techniczny urządzenia. Zdecydowano się, więc na zastosowanie systemu wnioskującego, który na podstawie dwunastu wartości cech, jakie spłyną od modułu detekcji określi jeden spójny wniosek. Zdecydowano się by tym wnioskiem było prawdopodobieństwo wystąpienia zmiany stanu podane w procentach. Przydatne informacje znajdują się w pracach [3], [4].

Warto wziąć pod uwagę fakt, że nie wszystkie cechy sygnału będą odzwierciedlały wszystkie zaistniałe zmiany, oraz że nie wszystkie metody detekcji umożliwią zaobserwowanie zaistniałej zmiany, gdyż są one ukierunkowane na niektóre typy zmian cech sygnału. Uwzględniając to zdecydowano się na obliczanie prawdopodobieństwa wystąpienia zmiany stanu według zaproponowanego przez autora wzoru (7), zgodnie, z którym najbardziej istotne dla końcowego wniosku jest wykrycie zmiany stanu za pomocą jednej z metod, a wykrywanie zmiany stanu przez każdą z następných metod zmienia prawdopodobieństwo w coraz mniejszym stopniu.

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n 1}} \cdot 100\% , \quad (7)$$

gdzie:

i - indeks metody

n - liczba metod

a_i - wniosek i -tej metody, 1 gdy wystąpiła zmiana stanu, 0 gdy nie wystąpiła zmiana stanu

a - prawdopodobieństwo wystąpienia zmiany stanu

W trakcie pracy nad modelem systemu diagnostycznego zaobserwowano fakt, że poszczególne metody detekcji są w różnym stopniu wiarygodne (niektóre metody podawały błędny wniosek znacznie częściej niż pozostałe). Fakt ten został zaobserwowany doświadczalnie i nie zostanie poparty teorią w niniejszej pracy. By go uwzględnić wprowadzono współczynniki wagi we wzorze na prawdopodobieństwo zmiany stanu. Ostatecznie zaproponowany wzór przyjmuje postać (8). Współczynniki zostały przypisane arbitralnie każdej metodzie detekcji, a dalsze badania nad ich wartością i celowością zastosowania autor uważa za interesujące i istotne. Wartości współczynników zostały podane w poniższej tabeli.

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}} \cdot 100\% , \quad (8)$$

gdzie:

v_i - współczynnik wagi i -tej metody

| | Wartość | RMS | Liczba serii |
|---|---------|-----|--------------|
| Metoda przekroczeń granicznych wartości chwilowej | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Metoda przekroczeń granicznych wartości średniej | 1 | 1 | 1 |
| Metoda analizy współczynnika funkcji aproksymującej | 1 | 1 | 1 |
| Metoda współczynnika korelacji rangowej Spearmana | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

4. BADANIA MODELOWE

Model systemu diagnostycznego umożliwia generowanie sygnałów obrazujących wystąpienie nagłej zmiany stanu. Sygnały składają się z dwustu próbek, przy czym sto pierwszych przedstawia wartości przed zmianą stanu. Możliwe jest zamodelowanie trzech typów zmiany: zmiany wartości średniej sygnału, zmiany amplitudy i zmiany częstotliwości. W każdym z przypadków można określić szybkość zachodzącej zmiany (liczbę próbek, podczas których zmiana narasta) oraz stosunek mocy szumu do mocy sygnału. Generowany sygnał jest sumą trendu obrazującego symulowaną zmianę i szumu o rozkładzie normalnym.

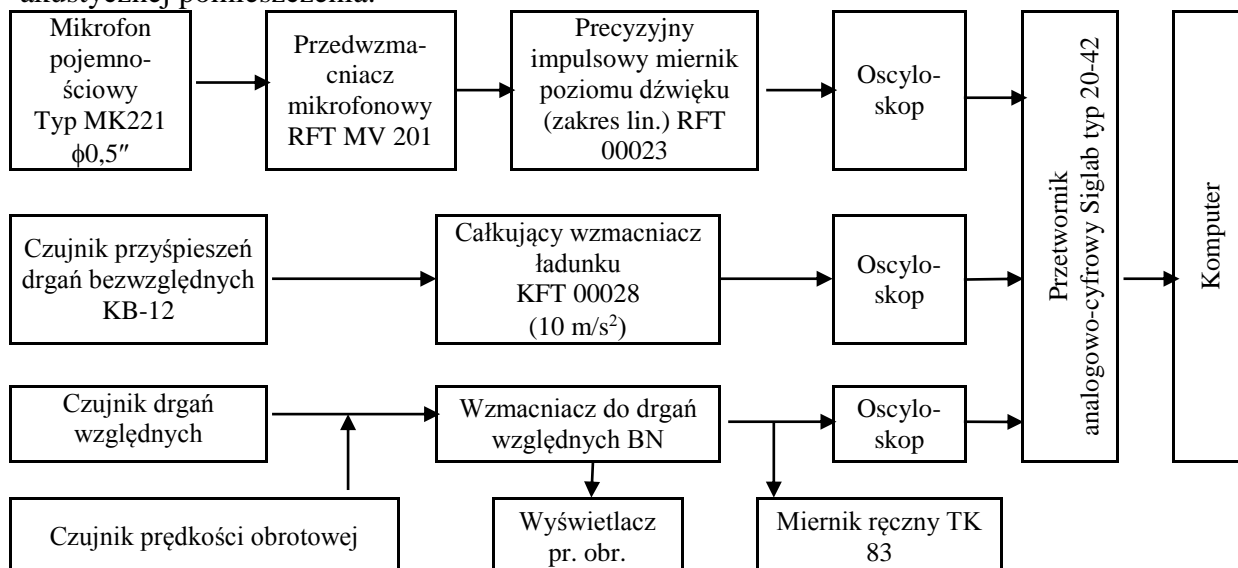
Zgodnie z przewidywaniami nie wszystkie cechy sygnału odzwierciedlają modelowane zmiany stanu. Analiza wartości sygnału umożliwia wykrycie zmiany wartości średniej (wszystkie metody) sygnału oraz wykrycie zmiany amplitudy (jedynie metoda przekroczeń granicznych), natomiast detekcja zmiany częstotliwości na jej podstawie nie jest możliwa.

Badanie przebiegu czasowego wartości skutecznej daje większe możliwości detekcji. Na jego podstawie można wykryć wszystkimi metodami zmianę wartości średniej oraz amplitudy sygnału, natomiast detekcja na jego podstawie zmiany częstotliwości jest możliwa jedynie przy zastosowaniu analizy współczynnika funkcji aproksymującej. Czas detekcji

Rysunek (Rys. 3) przedstawia model maszyny z zamontowanymi czujnikami. Rotor Kit może być używany w zależności od potrzeb w różnej konfiguracji budowy. W przeprowadzonym eksperymencie pomiarów dokonano na urządzeniu składającym się z: silnika elektrycznego o płynnie regulowanej prędkości obrotowej, wału długości 600 [mm] i średnicy $\phi 10$ [mm], dwóch łożysk ślizgowych, tarczy mocowanej na wale i zespołu przycierającego. Moment obrotowy przenoszony jest na wał za pomocą sprzęgła. Łożyska podtrzymują wirnik na obu końcach. W równej odległości od łożysk na wale została zamontowana tarcza. Element przycierający został zamontowany w okolicach łożyska. Model maszyny wirnikowej Rotor Kit z zamontowanymi czujnikami

Pomiarów dokonywano za pomocą czterech czujników: czujnika prędkości obrotowej, czujnika drgań względnych wału, czujnika drgań bezwzględnych obudowy i mikrofonu. Miejsca mocowań czujników przedstawia rysunek (Rys. 3a). Czujnik prędkości obrotowej został przykręcony do specjalnego uchwyty na obudowie silnika. Czujnik drgań względnych wkręcony został do podpory tak, by mierzył drgania w pionie. Czujnik drgań bezwzględnych przymocowany został do obudowy za pomocą obustronnie nagwintowanego wkrętu. Mikrofon zamocowano na statywie w odległości 350 [mm] od osi wirnika.

W celu dokonania pomiarów zmontowano układ przedstawiony na schemacie (Rys.4). Ponieważ interesowały nas zmiany względne sygnałów a nie ich wartości bezwzględne, nie dokonano kalibracji żadnego z torów pomiarowych. Nie określono również charakterystyki akustycznej pomieszczenia.



Rys. 4 Schemat układu pomiarowego

6. WNIOSKI Z BADAŃ LABORATORYJNYCH

W ramach weryfikacji modelu systemu diagnostycznego za pomocą danych pochodzących z modelu rzeczywistego zdecydowano się na pomiar trzech wielkości fizycznych: drgań względnych wału, drgań bezwzględnych obudowy i ciśnienia akustycznego. Wybór trzech wielkości ma na celu porównanie ich przydatności do wykrywania nagłych zmian stanu.

Detekcja zmiany stanu na podstawie analizy ciśnienia akustycznego była możliwa tylko w nielicznych przypadkach. Jakikolwiek zakłócenia zewnętrzne np. rozmowa lub odgłos kroków prowadziły do fałszywych wniosków. Być może pomiar sygnałów o wyższej częstotliwości lub pomiar w określonym paśmie częstotliwości prowadziłyby do lepszych rezultatów. Innym rozwiązaniem, zmniejszającym wpływ zakłóceń, może być zastosowanie

sądy pomiarowej mierzącej ciśnienie akustyczne w otoczeniu lokalnym łożyska. Zdaniem autora przydatność analizy zmienności ciśnienia akustycznego do wykrywania nagłych zmian stanu jest niewielka, wykrywalność jest niska a wnioski obciążone są dużą dozą niepewności.

Wartość drgań względnych wału zmieniała się pod wpływem wszystkich wywołanych zmian stanu. Zmiany były wyraźne i prawie natychmiastowe. Sygnał nie zmieniał się pod wpływem innych występujących czynników zewnętrznych. Przydatność analizy przebiegu drgań względnych wału jest bardzo duża, jedyną jej wadą jest konieczność montażu czujnika takich drgań, co może być kłopotliwe w warunkach przemysłowych.

Detekcja zmiany stanu na podstawie analizy przyspieszeń drgań bezwzględnych obudowy była możliwa w większości przypadków. Zmiany sygnału, chociaż nie tak wyraźne, jak w przypadku drgań względnych były wystarczające. Pomiar tych drgań jest polecany w przypadku, gdy pomiar drgań względnych nie jest możliwy lub jako pomiar dodatkowy.

Analiza wartości chwilowej była przydatna przy wykrywaniu nagłych zmian stanu. Reagowała najszybciej na zaistniałą zmianę stanu. Duży wpływ na jej wartość miał szum zawarty w sygnale.

Wartość skuteczna reagowała zmianą swojej wartości średniej na zmianę wartości średniej lub amplitudy analizowanego sygnału. Zmiany były bardzo wyraźne, a w stanie ustalonym przebieg bardzo stabilny. Detekcja zmiany stanu na jej podstawie była bardzo łatwa. Ze wszystkich analizowanych cech najlepiej odzwierciedlała nagle zmiany stanu. Jedyną jej wadą jest konieczność jej obliczenia.

Analiza liczby serii została zastosowana w opracowanym modelu systemu diagnostycznego. W badaniach nad przydatnością tej cechy na podstawie danych generowanych otrzymano dobre rezultaty, natomiast na podstawie danych pochodzących z modelu konkretnego złe. Wynika to z faktu, że cecha reaguje na zmiany częstotliwościowe sygnału, a w przypadku danych pochodzących z modelu konkretnego analizowano przebieg reprezentantów serii pobranych próbek, nie było więc zachowane twierdzenie o próbkowaniu. Należy więc uznać, że przydatność analizy tej cechy wymaga dalszych badań, a ich wyniki mogą być interesujące. Liczba serii może mieć wiele przydatnych własności np. w przypadku pomiaru drgań względnych odzwierciedla zmiany prędkości nawet gdy amplituda drgań nie wzrosła. Jest niestety bardzo czuła na szum zawarty w analizowanym sygnale.

Metoda przekroczeń granicznych wartości chwilowej umożliwiła wykrycie zmiany analizowanej cechy sygnału. Detekcja była pewna i szybka. Przy dużej mocy szumu w sygnale możliwe są fałszywe alarmy nawet w wyniku wzrostu wartości pojedynczej próbki, jednak przy odpowiednim doborze sygnału pomiarowego i cechy tego sygnału wada ta jest pomijalna.

Metoda przekroczeń granicznych średniej bieżącej cechuje się większą pewnością detekcji niż metoda omawiana poprzednio. Niestety nie wykrywa wszystkich zmian w analizowanym sygnale. Detekcja zmiany stanu za jej pomocą jest możliwa nawet, gdy stosunek mocy szumu do mocy sygnału jest duży. Wykrycie zmiany następuje niewiele później niż za pomocą metody przekroczeń granicznych wartości chwilowej.

Metoda analizy współczynnika kierunkowego liniowej funkcji aproksymującej pozwala na wykrycie trendu w analizowanej cesze sygnału. Weryfikację metody zarówno na podstawie sygnałów generowanych jak i mierzonych uznano za pozytywną. Jej wadą jest konieczność określenia współczynników funkcji aproksymującej, co w przypadku braku odpowiednich funkcji w stosowanym języku programowania jest dość trudne.

Metoda analizy współczynnika korelacji rangowej Spearmana jest kolejną z zastosowanych metod wykrywania trendu. Jej przydatność w systemie diagnostycznym jest niewielka. Podczas pracy ustalonej współczynnik korelacji rangowej Spearmana ma duże wahania amplitudy, osiąga nawet wartości maksymalne, co uniemożliwia detekcję zmiany stanu na jego podstawie. Jak nazwa wskazuje, współczynnik ten może służyć do badania

korelacji dwóch sygnałów, a nie do badania szybkości zmian sygnału. Możliwa jest na jego podstawie detekcja trendu, lecz nie określenie szybkości zmian.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Za niewątpliwy sukces należy uznać opracowanie modelu systemu diagnostycznego umożliwiającego detekcję nagłych zmian stanu wybranego środka technicznego oraz przeprowadzenie weryfikacji poprawności jego działania z wynikiem pozytywnym.

Kolejnym sukcesem było porównanie przydatności do detekcji różnych nagłych zmian stanu wybranych sygnałów pomiarowych, cech tych sygnałów oraz metod detekcji. Osiągnięto więc w pełni postawiony na początku cel pracy.

Wszystkie zastosowane metody okazały się przydatne przy detekcji badanych zmian stanu, a ich skuteczność została określona. Dobre wyniki uzyskano przy zastosowaniu, zaproponowanej przez autora, metody analizy współczynnika kierunkowego liniowej funkcji aproksymującej. Obiecujące wyniki uzyskano również przy analizie liczby serii w sygnale, ale przydatność tej cechy nie została potwierdzona.

Przyjęte metody wywołania nagłych zmian stanu okazały się być skuteczne, a zarejestrowane sygnały mogą posłużyć wielu dalszym badaniom.

W trakcie realizacji pracy badawczej natrafiono na szereg trudności, których określenie i zaproponowane sposoby przewyciężenia są małym wkładem autora w badania nad metodami detekcji nagłych zmian stanu

Niedociągnięciem systemu jest brak rozwiązania pozwalającego na archiwizację zgromadzonych sygnałów i wyników ich analizy. Długość realizacji sygnałów ograniczona jest parametrami komputera, a szczególnie ilością pamięci operacyjnej. Rozwiązanie takie jest niedopuszczalne w przypadku systemów diagnostycznych stosowanych w przemyśle, jednak dla celów badawczych gdy analizowane sygnały są dostatecznie krótkie, jest dopuszczalne.

Za niepowodzenie należy również uznać fakt, że szybkość działania programu uzależniona jest od szybkości działania komputera, ma to znaczenie w przypadku analizy sygnału w rzeczywistej skali czasu. Istotność tego faktu nie została przetestowana w praktyce.

Ponieważ opracowywane zagadnienie jest tematem bardzo szerokim i dotyczy wielu dziedzin z zakresu diagnostyki technicznej, praca nie wyczerpuje zagadnienia prawie na żadnym z jego etapów. Możliwe jest, więc poszerzenie opracowanego systemu diagnostycznego o inne metody detekcji oraz badanie przydatności diagnostycznej innych cech sygnału np. jego mocy. Możliwe jest również przeprowadzenie badań weryfikacyjnych na podstawie innych sygnałów, pochodzących z dowolnego środka technicznego. Liczba generowanych lub rejestrowanych sygnałów poddanych analizie jest nieograniczona.

Interesujące mogą być badania dotyczące automatycznego określania wartości progów granicznych na podstawie wartości średniej, odchylenia standardowego i wartości maksymalnej sygnału przed zmianą stanu. Celowe mogą też okazać się badania nad optymalnym określeniem innych parametrów algorytmu np. długości okna czasowego w zależności od stosunku mocy szumu do mocy sygnału.

Zdaniem autora poszerzenie tej i prowadzenie dalszych prac badawczych nad metodami detekcji nagłych zmian stanu oraz zastosowanie wyników tych badań może przyczynić się do zapewnienia właściwej eksploatacji maszyn, zmniejszenia liczby poważnych awarii i poprawienia bezpieczeństwa pracy.

8. LITERATURA

- [1] BASSEVILLE M., NIKIFOROV I.: Detection of Abrupt Changes: Theory and Application. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1993.
- [2] CEMPEL CZ.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
- [3] CHOLEWA W.: Aggregation of Fuzzy Opinions – an Axiomatic Approach. [W:] Fuzzy Sets and Systems. 17 (1985) s.249-258.
- [4] CHOLEWA W., KAŹMIERCZAK J.: Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995, skrypt nr 1904.
- [5] CHOLEWA W., MOCZULSKI W.: Diagnostyka techniczna maszyn. Pomiary i analiza sygnałów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993, skrypt nr 1758.
- [6] FRANK P.: Enhancement of Robustness in Observer-Based Fault Detection.
- [7] BRZÓZKA J., DOROBCZYŃSKI L.: Programowanie w Matlabie. Mikom, Warszawa 1998.
- [8] MROZEK B., MROZEK Z.: Matlab 5.x, Simulink 2.x – poradnik użytkownika. PLJ, Warszawa 1998.
- [9] ZALESKI A., CEGIEŁO R.: Matlab obliczenia numeryczne i ich zastosowanie. Nakom, Poznań 1998.
- [10] KOŚCIELNY J., SZCZEPANIAK P.: Terminologia oraz klasyfikacja metod detekcji i diagnostyki procesów przemysłowych. [W:] II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna. s. 57-71.

MODEL OF DIAGNOSTIC SYSTEM ENABLING DETECTION OF ABRUPT STATE CHANGES OF SELECTED TECHNICAL MEANS

Abstract: Paper presents methods used in the model of diagnostic system designed for detection of abrupt state changes. Applied methods are discussed. Conclusions are drawn from system tests accomplished with application of generated signals and signals from Rotor Kit laboratory stand.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej WILK