

Prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec,
Katedra Elektrowni, Diagnostyki i Inżynierii Komputerowej, Politechnika Opolska

Organizacja eksploatacji i diagnostyki

w przemyśle i energetyce - cz. 2

Eksploatując maszyny, hipotetycznie po względnie długim czasie następuje wzrost szeroko-pasmowych poziomów drgań maszyny. Zbliżamy się do stanu określonego jako OSTRZEŻENIE (ALERT).

Dla właściwego przebiegu procesu diagnozowania poszczególnych rodzajów maszyn Zespół Diagnostów w danym zakładzie przemysłowym powinien w porozumieniu z producentem danej maszyny ustalić wartości graniczne drgań, określane jako OSTRZEŻENIE (ALERT). OSTRZEŻENIE informuje, że osiągnięto określoną wartość poziomu drgań, w ten sposób, iż nastąpiła znaczna niekorzystna zmiana stanu dynamicznego maszyny, który wymaga podjęcia środków zaradczych. Jeśli pojawi się OSTRZEŻENIE, na ogół można kontynuować pracę w okresie, w którym jest prowadzona eksploatacja maszyny lub jej badania w celu określenia przyczyn zmiany charakteru drgań (rys. 22) i ustalenia środków zaradczych. Wykonuje się wtedy analizę sygnału drganiowego i ustala przyczyny wzrostu drgań. Następnie zwiększamy częstotliwość pomiarów, przy każdym pomiarze wykonujemy analizę diagnostyczną sygnału. Jeżeli dostępnymi prostymi za-

biegami technicznymi (np. wyważanie w łożyskach własnych, osiowanie, wyczyszczenie, przesmarowanie, dokręcenie, wymiana drobnych elementów) nie możemy obniżyć poziomu drgań przygotowujemy się logistycznie i technicznie do zatrzymania maszyny i wykonania remontu. Jeżeli z różnych względów nie możemy maszyny zatrzymać to z konieczności eksploatujemy ją dalej. Zwykle w niedalekim czasie dojdziemy do stanu ALARM - NIEBEZPIECZEŃSTWO. ALARM jest wartością graniczną poziomu drgań, powyżej której dalsza praca maszyny może spowodować awarię, uszkodzenie. Jeśli wartość ALARMU zostanie przekroczona, należy niezwłocznie podjąć działania w celu radykalnego zmniejszenia po-

ziomu drgań lub wyłączyć maszynę. Dla różnych miejsc i kierunków pomiarowych można określić różne wartości graniczne, które uwzględniają różnice w obciążeniu dynamicznym zespołów maszynowych i w sztywności fundamentu i konstrukcji wsporczej [11, 12, 16].

■ Nastawianie wartości granicznych OSTRZEŻENIA

Wartości graniczne OSTRZEŻENIA różnych rodzajów maszyn mogą się znacznie różnić. Wybrane wartości nastawia się zwykle względem wartości podstawowej określonej doświadczalnie dla danego położenia lub kierunku pomiaru maszyny. Jeśli nie określono wartości podstawowej, (np. dla nowej maszyny) OSTRZEŻENIE należy początkowo nastawić na

” ALARM jest wartością graniczną poziomu drgań, powyżej której dalsza praca maszyny może spowodować awarię, uszkodzenie

podstawie doświadczeń z innymi podobnymi maszynami lub w odniesieniu do uzgodnionych wartości stosowanych przy odbiorze. Po pewnym okresie czasu można będzie określić wartość podstawową, którą należy uwzględnić przy wyznaczaniu nowej wartości alarmu. Dla różnych łożysk maszyny można stosować różne nastawy alarmów odpowiadające różnym obciążeniom dynamicznym i sztywnościom stojaków łożyskowych.

■ **Nastawianie wartości granicznych NIEBEZPIECZEŃSTWA**

Wartości graniczne NIEBEZPIECZEŃSTWA dotyczą w zasadzie stanu dynamicznego maszyny i zależą od określonych własności konstrukcyjnych maszyny. Dla maszyn o różnej konstrukcji mogą występować różnice i nie można podać wytycznych dotyczących bezwzględnych wartości NIEBEZPIECZEŃSTWA. Wartość NIEBEZPIECZEŃSTWA znajduje się na ogół w strefie C lub D.

■ **Jednolity system nadzoru maszyn w przedsiębiorstwie**

Ze względu na system eksploatacji, diagnostyki, zabezpieczenia i zarządza-

nia, maszyny użytkowane w przedsiębiorstwie przynależą do różnych grup ważności. Maszyny te można podzielić na:

- maszyny krytyczne, tzn. takie, które nie posiadają rezerwowania, ich koszt inwestycyjny był wysoki. Eksploatacja tych maszyn wpływa w sposób istotny na wynik ekonomiczny przedsiębiorstwa. Przykładowo w elektrowni są to:
 - turbozespół,
 - turbopompa,
 - elektropompa.
- maszyny quasi-krytyczne, tzn. takie, które na ogół nie posiadają rezerwowania i mimo, że ich koszt inwestycyjny nie jest tak znaczący, jak w przypadku maszyn krytycznych, to ich awaria wpływa na prace maszyn krytycznych i w konsekwencji rzutuje na osiągany wynik ekonomiczny przedsiębiorstwa. Przykładowo w elektrowni są to:
 - wentylatory spalin,
 - wentylatory podmuchu,
 - wentylatory młynowe,
 - młyny węglowe,
 - pompy cyrkulacyjne kotła,
 - wentylatory ROFA,
 - napędy przenośników węgla.
- maszyny pomocnicze, tzn. takie,

które posiadają rezerwę, a ich koszt inwestycyjny jest niewielki w porównaniu z maszynami krytycznymi, jest ich najwięcej, są to pozostałe maszyny.

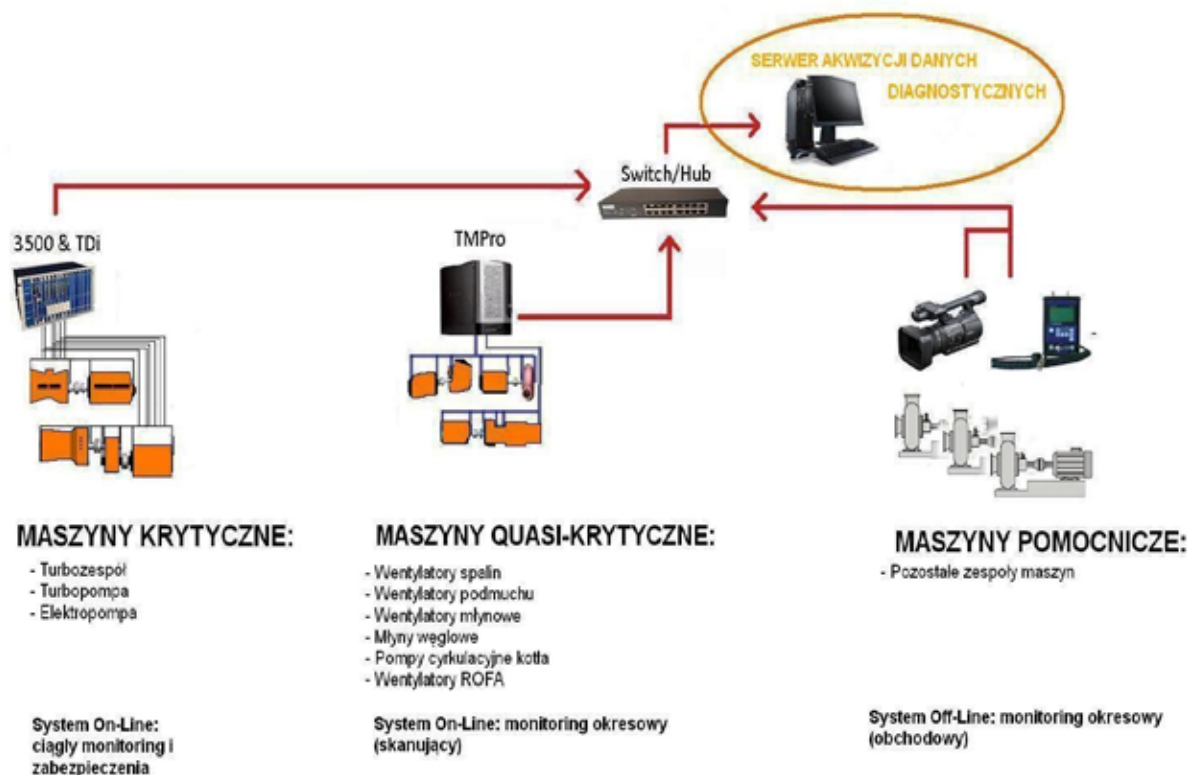
Podział ten odpowiada bieżącej sytuacji. Należy się liczyć z tym, że w ślad za światową tendencją obejmowania systemami monitorowania on-line coraz większej liczby maszyn pracujących w przedsiębiorstwach podział ten w miarę upływającego czasu będzie ulegał zmianie. W interesie przedsiębiorstwa jest posiadanie jednolitego systemu akwizycji danych diagnostycznych dla wszystkich wymienionych grup maszyn. Przedstawia to rys. 23.

Systemy monitorowania dzielą się na [7]:

- Systemy monitorowania i zabezpieczeń: są to z reguły systemy działające w trybie on-line. Stosowanie systemów on-line jest wymagane w stosunku do wszystkich maszyn krytycznych i quasi-krytycznych. Przez tryb on-line rozumie się, że pomiary odbywają się w czasie normalnej eksploatacji maszyn. Wszystkie pomiary włączone do systemu monitorowania są przetwarzane równolegle w czasie i mogą spowodować wyłączenie



Rys. 22. Przykładowa oferta aparatury do pomiarów i analizy sygnałów, w tym aparatury diagnostycznej dla potrzeb przemysłu jednej z czołowych światowych firm produkujących profesjonalną aparaturę [13]



Rys. 23. Jednolity system nadzoru stanu technicznego w przedsiębiorstwie [9]

maszyny po przekroczeniu odpowiedniej wartości sygnału diagnostycznego,

- Systemy monitorowania bez wykonywania funkcji zabezpieczeń.

Strukturę systemu diagnostyki dla jednego bloku elektrowni dla maszyn krytycznych przedstawiono na rys. 24. Natomiast na rys. 25 strukturę systemu diagnostyki maszyn jest przejrzysta. Wyróżnić można wyraźnie poziom systemów monitorowania i zabezpieczeń, poziom zbierania danych z systemów monitorowania i ich wstępnej obróbki połączonej z buforowaniem, poziom akwizycji danych w jednym systemie diagnostycznym Data Manager oraz poziom dostępu użytkowników z różnych komórek specjalizowanych korzystających z zapisanych danych.

■ Wymagania ogólne systemu nadzoru stanu technicznego maszyn [9]

1. Wymagania wobec oprogramowania diagnostycznego [9]:

- Integracja na wspólnej platformie aplikacyjnej zadań związanych z monitoringiem maszyn wirnikowych, zarządzaniem danymi, analizą danych (diagnostyką), raportowaniem i wymianą danych z systemami zewnętrznymi.

- Integracja różnorodnych technologii diagnostycznych w ramach jednej spójnej bazy danych diagnozowanych urządzeń (diagnostyka drganiowa, diagnostyka olejowa, diagnostyka ultradźwiękowa, diagnostyka termograficzna, diagnostyka parametrów elektrycznych silników). Baza musi mieć możliwość zarządzania wielkościami

pomiarowymi w postaci liczb (np. dla systemów pomiarów drgań), jak również możliwość gromadzenia trendów, analiz i dokumentów w postaci obrazów, plików pdf i innych np. pochodzących z rejestracji termowizyjnej oraz umożliwić zarządzanie tymi dokumentami. Powinno również umożliwiać wykonanie powiązań różnych dokumentów i analiz diagnostycznych oraz tworzenie archiwów dla poszczególnych maszyn zawierających między innymi analizy, zdarzenia i raporty.

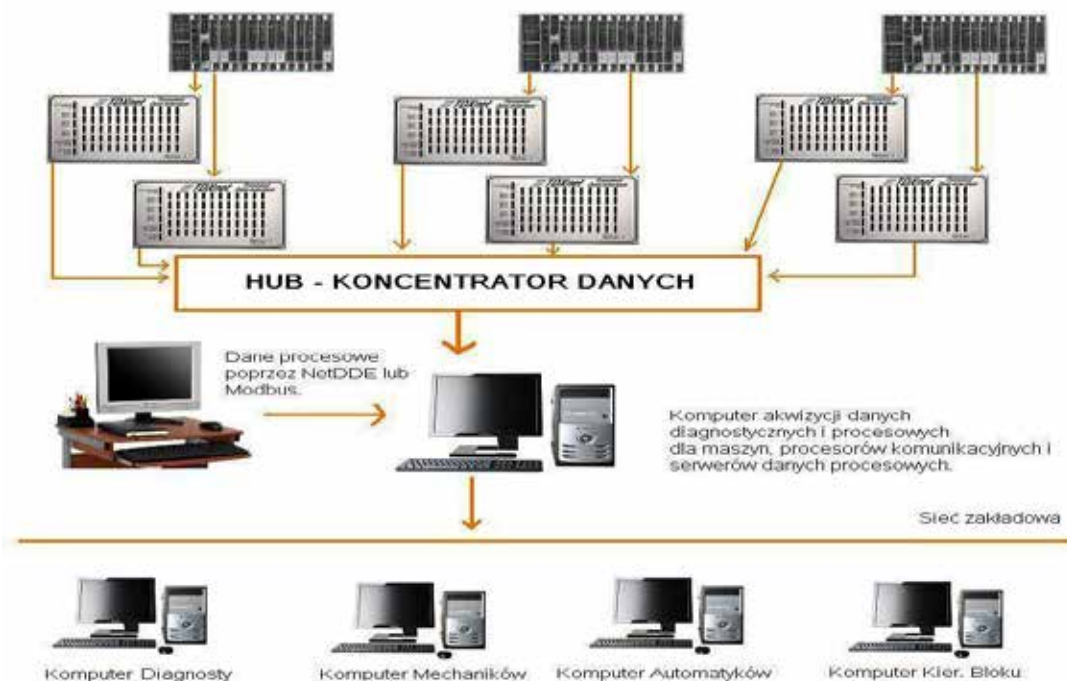
- Gromadzenie pomiarów w stanach ustalonych i nieustalonych w celu późniejszego ich odtworzenia, analizy i porównania z danymi historycznymi.
- Prowadzenie akwizycji danych pomiarów drgań dla stanów nieustalonych z rozdzielczością i pasmem dostosowanymi do diagnozowanych urządzeń.

- Prowadzenie akwizycji pomiarów drgań dla stanów ustalonych w trakcie normalnej pracy z rozdzielczością i w paśmie wystarczającym dla celów diagnostyki predykcyjnej.
 - Prowadzenie akwizycji danych w stanach alarmowych, gdzie wszystkie potrzebne do analizy dane z ustalonych okresów czasu sprzed wystąpienia zdefiniowanego alarmu i po jego wystąpieniu będą archiwizowane z maksymalną rozdzielczością.
 - Prowadzenie akwizycji danych i ich gromadzenie w oparciu o stan parametrów technologicznych takich jak: obciążenie maszyny, stopień ustawienia kłap wentylatorów, obroty, prąd silnika, itp.
 - Przetwarzanie danych i prowadzenie diagnostyki łożysk tocznych i przekładni mechanicznych umożliwiające bardzo wczesne wykrywanie początku degradacji elementów tych urządzeń wraz z możliwością określenia trendu zachodzących zmian (przenośny wielokanałowy przyrząd - system pomiarowy - rys. 22).
 - Zarządzanie dokumentacją nadzorowanych urządzeń, możliwość eksportu danych diagnostycznych do systemów zewnętrznych oraz zdalny kontrolowany dostęp do aplikacji diagnostycznej.
 - Możliwość sporządzania zbiorczych raportów dla poziomu zarządczego, włączając w to wizualizacyjne narzędzia graficzne.
 - Budowania bazy danych urządzeń na podstawie bibliotek typowych elementów.
 - Prowadzenie zautomatyzowanej diagnostyki parametrów mechanicznych nadzorowanych urządzeń i określenia trendu potencjalnych zmian tych parametrów.
 - Możliwość ustawiania poziomu alertów (alarmów) w oparciu o zgromadzone dane i ich analizę statystyczną.
- Dane diagnostyczne uzyskane na podstawie analizy drganiowej sta-

nu maszyny/urządzenia z monitorów obiektowych będą danymi wejściowymi dla poziomu diagnostycznego opartego o platformę serwera wyposażonego w stosowne oprogramowanie analityczne. Celem zapewnienia efektywnej pracy poziomu analitycznego, będzie możliwość wprowadzenia do bazy danych szczegółowych parametrów fizycznych monitorowanych maszyn/urządzeń, np. rodzaj łożysk, parametry wirników, itp.

Poziom oprogramowania diagnostycznego będzie zawierał narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji diagnostycznych, umożliwiając szczegółową analizę złożonych przypadków. Moduł analityczny umożliwi diagnozę przeprowadzenie wielokrotnej szczegółowej analizy zebranych danych dla potwierdzenia wyników automatycznej diagnostyki, poza tym, będzie uwzględniał rzeczywistą konfigurację maszyny dla uzyskania jak najdokładniejszych wyników dotyczących jej stanu.

System na poziomie diagnostycznym będzie mieć możliwość gromadzenia wyników analiz i ich prezentacji.



Rys. 24. Struktura systemu diagnostyki dla jednego bloku elektrowni dla maszyn krytycznych [9]

2. Wymagania wobec interfejsu użytkownika [9]:

System musi posiadać łatwy w użyciu interfejs, który będzie prezentował informacje o stanie i statusie nadzorowanych urządzeń oraz umożliwiał korelację danych diagnostycznych między sobą oraz z danymi procesowymi, będzie posiadał możliwość prezentacji danych na zdalnych i lokalnych komputerach. Ponadto, interfejs użytkownika musi posiadać minimum poniższą funkcjonalność (użytkownik będzie miał możliwość jego rozbudowy przy użyciu elementów graficznych standardowych oraz przez siebie zdefiniowanych):

- Hierarchiczny graficzny podział obiektu na obszary, instalacje, urządzenia.
- Wizualizację poszczególnych zestawów maszynowych, jak i poszczególnych elementów monitorowanej maszyny.
- Sygnalizację poprawnej pracy lub błędu poszczególnych kanałów systemu zabezpieczeń.
- Prezentację wartości bieżących parametrów zdefiniowanych dla poszczególnych punktów pomiarów

drgań, takich jak: wartość ogólna, amplituda oraz faza dla 1X (1-harmoniczna częstotliwości od prędkości obrotowej maszyny) oraz 2X (2-harmoniczna częstotliwości od prędkości obrotowej maszyny), status alarmu, status przetworników i czujników pomiarowych.

3. Wymagania wobec narzędzi diagnostycznych [9]:

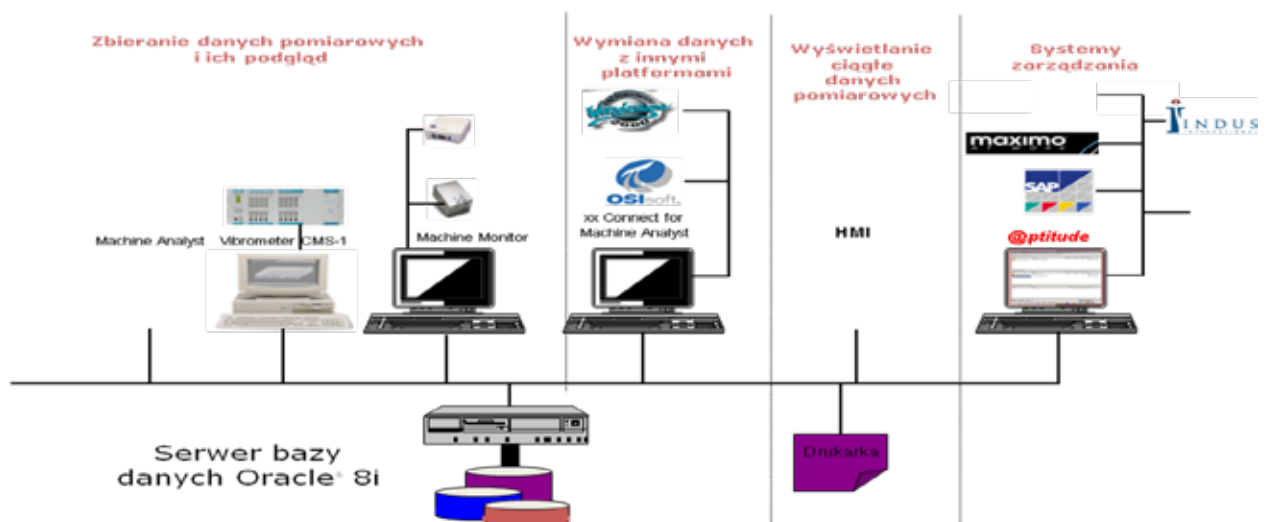
System na poziomie oprogramowania musi być wyposażony w zaawansowane narzędzia diagnostyczne przydatne dla diagnostów w zakresie planowania przeglądów/remontów, szczegółowej diagnostyki uszkodzeń, a także analizy przyczyny powstawania uszkodzeń. Dla podniesienia efektywności prowadzonej diagnostyki, narzędzia diagnostyczne zawarte w systemie będą wspomagać osoby odpowiedzialne za prowadzenie diagnostyki (Wydział Diagnostyki, Wydział Kontroli Jakości i Diagnostyki) przynajmniej w następującym zakresie musi mieć możliwość:

- wizualizowania alertów (alarmów) i zdarzeń diagnostycznych powiąza-

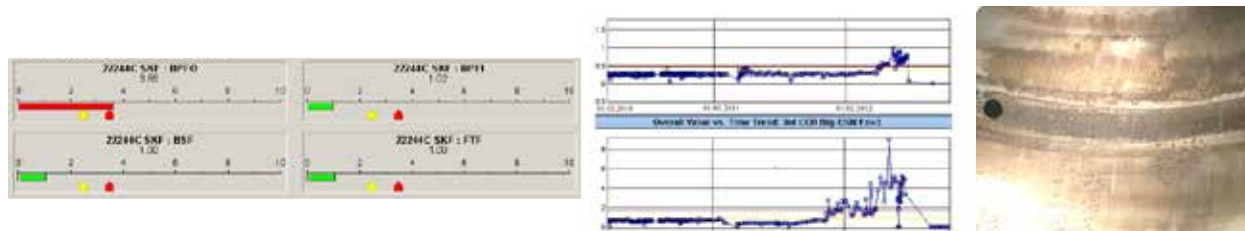
ną z możliwością bezpośredniego przejścia do konkretnych obszarów/instalacji i urządzeń,

- podzielenia przedsiębiorstwa na obszary/instalacje z przydzieleniem praw dostępu do tych obszarów zdefiniowanym użytkownikom (realizacja w zakresie wykonawcy),
- predefiniowania środowiska diagnostycznego i ustawień/parametrów narzędzi diagnostycznych przez poszczególnych użytkowników,
- predefiniowania osobistego pulpitu przez poszczególnych użytkowników systemu,
- dostępu do wszystkich narzędzi diagnostycznych w sposób, w jaki są one dostępne podczas diagnostyki danych bieżących (w trakcie odtwarzania danych zgromadzonych w pamięci masowej),
- dostępu do narzędzi, pozwalających na dokonanie korelacji i autokorelacji gromadzonych danych, w celu wykrycia okresowo pojawiających się anomalii w działaniu urządzeń,
- skorzystania z funkcji tzw. „szybkiego trendu” oraz „trendu długookre-

Kompletny system wg koncepcji SKF



Rys. 25. Jednolity system nadzoru stanu technicznego w cementowni wg koncepcji SKF [14]



Rys. 26. Przykładowy wynik pomiaru stanu łożyska 22244 w cementowni wykonany przez system nadzoru stanu technicznego SKF oraz uszkodzone łożysko

- sowego” dla danych historycznych (gromadzenie danych pomiarowych będzie również wyzwalane zdarzeniowo),
- prezentowania danych pomiarowych w postaci przebiegu czasowego wibracji z możliwością ich zapisywania w pamięci masowej i wielokrotnego odtwarzania,
- kreślenia wykresów kołowych (orbit), ich rejestrowania i odtwarzania,
- kreślenia charakterystyki położenia wału w łożysku (tzw. Shaft Centerline) dla obserwacji w czasie rzeczywistym uśrednionej pozycji wału w łożysku, rejestrowania tych danych oraz swobodnego odtwarzania danych archiwalnych,
- prezentowania widma sygnału (spektrum) dla zgromadzonych danych pomiarowych, ich zapamiętywania w pamięci masowej oraz ich swobodnego odtwarzania,
- kreślenia wielu kolejnych widm jednego sygnału na pojedynczym wykresie,
- kreślenia widm kaskadowych,
- kreślenia charakterystyk Bodego na podstawie danych bieżących oraz danych gromadzonych w stanach nieustalonych (dane typu „transient”),
- nakładania wielu wykresów danych historycznych na wykres podstawowy,
- śledzenia zmian w poszczególnych kanałach pomiarowych.

Pożądaną jest również sporządzanie dokumentacji diagnostycznej, sporządzania raportów, udostępniania

wyników diagnostyki w sieci intranetowej przedsiębiorstwa.

4. Wymagania wobec wizualizacji i dystrybucji wyników z wykorzystaniem przeglądarki intranetowej [9]:
Oprogramowanie musi być wyposażone w serwer danych umożliwiający dystrybucję wyników diagnostyki, raportów oraz informacji o aktualnym stanie urządzeń drogą internetową/intranetową do wskazanych osób w skali całego przedsiębiorstwa.

System musi mieć możliwość prezentowania informacji „od ogółu do szczegółu”, tzn. z obrazu danych zbiorczych (sumarycznych) prezentujących informacje z podziałem na obszary, instalacje, grupy urządzeń, będzie możliwe przejście do informacji prezentujących szczegółowo stan każdego monitorowanego urządzenia. System musi mieć możliwość wymiany danych z nadrzędnymi systemami sterowania blokiem z wykorzystaniem standardowych protokołów komunikacyjnych.

5. Wymagania wobec konfiguracji sprzętowej platformy i oprogramowania [9]:

Serwer systemu musi pracować w oparciu o jedną spójną platformę programową oraz musi mieć możliwość współpracy z podsystemem zabezpieczeń wykonanym w oparciu o sprzęt dostarczony przez dostawcę systemu.

System diagnostyczny on-line musi być rozszerzony o przenośny, kompatybilny, wielokanałowy przyrząd do gromadzenia pomiarów off-line dla maszyn/urządzeń nie objętych systemem

on-line (turbozespoły innych bloków, pompy zasilające, wentylatory, rurociągi, itp.).

System musi zapewnić pojemność pozwalającą na gromadzenie i przechowywanie danych przez minimum 10 lat dla charakterystyki pracy urządzeń oraz musi mieć zapewnioną rezerwę przestrzeni dyskowej o 50% większą w stosunku do przewidywanej.

Serwer musi posiadać zainstalowane i skonfigurowane oprogramowanie do zarządzania, pozwalające na informowanie użytkowników poprzez sieć o awariach i potencjalnych problemach.

Sieć systemu musi być przystosowana do importu/eksportu danych do/z systemów zewnętrznych.

■ System dla przykładowej cementowni

Na rys. 25 przedstawiono jednolity system nadzoru stanu technicznego dla przykładowej cementowni wg koncepcji SKF. Autor współpracuje z tą cementownią. Na rys. 26. przedstawiono przykładowy wynik pomiaru stanu łożyska 22244 w cementowni wykonany przez system nadzoru stanu technicznego SKF oraz uszkodzone łożysko.

■ Organizacja służb diagnostycznych w przemyśle i energetyce [9, 10, 16]

Autor w wyniku wieloletnich badań przemysłowych w zakresie eksploatacji i diagnostyki maszyn, nabył doświadc-

czenia w prowadzeniu diagnostyki. Doświadczenia dotyczą również spraw organizacyjnych i logistycznych służb diagnostycznych w przemyśle i energetyce [9, 10, 16].

■ **Zadania służb diagnostycznych [9, 10, 16]**

Do zadań służb diagnostycznych należą:

- ocena stanu dynamicznego maszyn w czasie eksploatacji na podstawie pomiarów okresowych i analizy sygnałów diagnostycznych, śledzenie i analizy danych systemu monitorowania ciągłego,
- prognozowanie trendu zmian stanu dynamicznego maszyn na podstawie powyższej oceny,
- gromadzenie bazy danych o maszynach,
- ostrzeganie o możliwej awarii maszyn i wskazywanie części, które ewentualnie należy przewidzieć do wymiany,
- wskazywanie przyczyny pogorszenia (w przypadku pogorszenia się stanu dynamicznego maszyny),
- wydawanie zaleceń eksploatacyjnych i remontowych wynikających z oceny stanu dynamicznego maszyn i innych urządzeń,
- wskazywanie, które maszyny wymagają remontu,
- ocena stanu dynamicznego maszyn przed remontem i po remoncie - kontrola efektywności remontu,
- ustalanie przyczyny nagłej awarii (w razie jej wystąpienia),
- likwidowanie skutków złego stanu dynamicznego maszyn poprzez np. doważanie wirników w łożyskach własnych oraz laserowego ustawiania wałów maszyn.

■ **Miejsce służb diagnostycznych w strukturach przedsiębiorstwa [9, 10, 16]**

System zabezpieczenia i nadzoru maszyn powinien być systemem wczesnego ostrzegania przed awarią. Z tego względu, bardzo ważny jest czytelny i szybki przepływ informacji pomiędzy odpowiednimi służbami, a co za tym idzie - ważne jest umiejscowienie służb diagnostycznych w strukturze przedsiębiorstwa. Służby te powinny być skupione w jednej komórce diagnostycznej, nie powinny być rozproszone.

Diagnostyka maszyn w przedsiębiorstwie energetycznym ma w większości przypadków swoje korzenie w strukturze remontowej przedsiębiorstwa. Początkowo sprowadzała się do wyważania wirników maszyn i prostego pomiaru poziomu drgań. Obecnie jest to rozwinięta, interdyscyplinarna dziedzina nauki. Diagnostyki wyposażeni są w nowoczesną aparaturę i narzędzia diagnostyczne umożliwiające efektywną eksploatację maszyn w tym obniżenie kosztów ich eksplo-

wymuszone lub spontaniczne procesy restrukturyzacyjne, wynikające z pilnej potrzeby stworzenia w spółkach form organizacyjnych i własnościowych wymuszających efektywność ekonomiczną we wszystkich obszarach działalności oraz dostosowanie się do warunków gospodarki rynkowej. Procesy te mają na celu obniżenie kosztów produkcji. Polegają one między innymi na wyłączeniu obsługi remontowej maszyn jako samodzielnego podmiotu gospodarczego. Często w takich sytuacjach pojawia się pokusa wyprowadzenia ze struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa wraz z obsługą remontową zespołu diagnostycznego. Jest to wygodne z punktu widzenia obsługi remontowej, ale nie z punktu widzenia szeroko pojętej funkcji właściciela a przede wszystkim dla oceny jakości wykonawstwa działań remontowych.

Niewielka grupa doświadczonych pracowników wraz z drogim sprzętem pomiarowym oceniająca między innymi

”

Diagnostyka maszyn w przedsiębiorstwie energetycznym ma w większości przypadków swoje korzenie w strukturze remontowej przedsiębiorstwa

atacji. Zasadna jest dyskusja na temat optymalnego miejsca komórki diagnostycznej w przedsiębiorstwie, na temat właściwego, optymalnego i efektywnego usytuowania zespołu diagnostycznego w strukturze przedsiębiorstwa.

Organizacja służb diagnostycznych w przedsiębiorstwie powinna być tworzona pod kątem efektywnego wykorzystania zasobów i potencjału tych służb oraz sprawnego nadzoru właścicielskiego nad urządzeniami technologicznymi. Po wejściu Polski do UE obserwujemy w krajowym przemyśle i energetyce

efektywność remontów, z perspektywą stałych zleceń badań diagnostycznych maszyn jest kusząca dla obsługi remontowej, ale bardzo często jest to organizacyjnie i ekonomicznie zbędny byt, patrząc z perspektywy właściciela. Komórka diagnostyczna, z racji dużej wiedzy o stanie technicznym urządzeń powinna mieć wpływ na zakres zleceń remontowych maszyn.

Zdaniem autorów, [9, 10, 16] uzasadnione organizacyjnie i ekonomicznie jest utrzymanie nadzoru diagnostycznego urządzeń w strukturach właścicielskich przedsiębiorstwa w tym elektrowni,

elektrociepłowni czy ciepłowni. Komórka organizacyjna diagnostyki maszyn nie powinna podlegać presji obsługi remontowej, ponieważ do jej zadań należy obiektywna, rzetelna i wiarygodna ocena stanu technicznego maszyn przed, jak i po remoncie. Wieloletnie doświadczenie autorów [9, 10, 16] pozwala na postawienie tezy, że diagnostyka eksploatacyjna w przedsiębiorstwie jest skuteczną metodą oceny jakości remontu i obiektywizuje decyzje dopuszczenia maszyn do ruchu.

Niewłaściwe miejsce służb diagnostycznych w strukturze przedsiębiorstwami może powodować, że służby diagnostyczne będą podlegać presji obsługi remontowej, a powinny być niezależne. Komórka organizacyjna zajmująca się kontrolą stanu dynamicznego maszyn powinna mieć rangę taką, jaką mają wydziały kontroli jakości w innych przedsiębiorstwach.

Przepływ informacji między różnymi służbami w przedsiębiorstwie dotyczący stanu dynamicznego maszyn i powinien być szybki, jednoznaczny, jak i czytelny.

Służby kontroli eksploatacji urządzeń powinny mieć bezpośredni dostęp do szczegółowej, niezawodnej i szybkiej informacji dotyczącej stanu maszyn i innych urządzeń, co ma znaczenie w podejmowaniu szybkich decyzji eksploatacyjnych i remontowych.

Sposób podejmowania, przekazywania i egzekwowania decyzji eksploatacyjnych w strukturach zarządzania eksploatacją w zakładzie powinien być precyzyjnie określony. Przedsiębiorstwa powinny być zainteresowane posiadaniem i funkcjonowaniem systemu diagnostycznego o dużym poziomie wiarygodności decyzji diagnostycznych i dużej efektywności operacyjnej.

■ Liczebność służb diagnostycznych [9, 10, 16]

Liczba roboczogodzin, konieczna do realizacji programu kontroli stanu

maszyn, zależy od zastosowanych narzędzi diagnostycznych i od ilości punktów pomiarowych, które muszą być kontrolowane. Np. w programie z liczbą punktów pomiarowych mniejszą niż 50, jeden inżynier zwykle realizuje całą procedurę osobiście, tzn. wykonuje pomiary, analizę i ocenę uzyskanych rezultatów.

W przypadku, kiedy wykonywane są szerokopasmowe pomiary drgań maszyn i współczynnika szczytu oraz na ich podstawie ocena stanu maszyn, jeden pracownik jest w stanie „obsłużyć” nawet 1500 punktów pomiarowych w ciągu miesiąca, zaś dwaj pracownicy mogą zapewnić kontrolę nawet 4000 punktów pomiarowych miesięcznie. Jeśli w każdym punkcie pomiarowym wykonywana jest analiza częstotliwości, wówczas jeden pracownik może obsłużyć kilkaset punktów kontrolnych miesięcznie.

■ Wyposażenie Laboratorium Diagnostyki Maszyn [9, 10, 16]

Doświadczenie autorów [9, 10, 16] wskazuje, że korzystnym jest utworzenie w danym przedsiębiorstwie Laboratorium Diagnostyki Maszyn, które stanowi zaplecze aparaturowo-eksperymentalne dla zespołu diagnostów w danym przedsiębiorstwie. Laboratorium Diagnostyki Maszyn powinno być wyposażone co najmniej w następujące narzędzia pracy:

- stanowisko komputerowe - do oceny stanu dynamicznego maszyn w czasie eksploatacji, na podstawie pomiarów okresowych i analizy drgań lub śledzenia i analizy danych z systemu monitorowania ciągłego,
- podręczny miernik do poziomu drgań umożliwiający pomiar wg norm ISO,
- lampę stroboskopową do oględzin elementów wirujących maszyn,
- stetoskop elektroniczny do osłuchiwania łożysk i innych elementów maszyn,
- analizator drgań, umożliwiający analizę drgań maszyn i urządzeń wg norm ISO oraz wyważanie wirników maszyn,
- zbieracz danych wraz z oprogramowaniem, umożliwiający gromadzenie okresowych danych pomiarowych z uprzednio utworzonych tras pomiarowych. Wskazane jest, aby oprogramowanie zbieracza danych było częścią oprogramowania do monitorowania ciągłego (uzupełnieniem),
- miernik poziomu dźwięku z filtrami,
- laserowy przyrząd do osiowania wałów maszyn,
- miernik do pomiarów izolacji głównej uzwojeń maszyn elektrycznych,
- miernik do pomiarów wyładowań w łożyskach tocznych,
- model maszyny wirnikowej do symulacji pracy maszyny w różnych warunkach, umożliwiający co najmniej wyważanie, osiowania wałów, ocenę pracy łożysk (rys. 15) lub specjalistyczne stanowisko diagnostyczne (rys. 16).

W praktyce, w diagnostyce drganiowej maszyny podstawą oceny ich stanu jest śledzenie trendu zmian poziomów drgań maszyn w czasie oraz analiza widmowa drgań zorientowana na znalezienie fizycznych przyczyn występowania określonych dominant w widmie drgań. Od chwili pierwszego uruchomienia maszyn, powinno się prowadzić systematyczne pomiary drganiowe, za pomocą aparatury przenośnej lub stacjonarnej.

■ Uwagi końcowe

Optymalną metodą eksploatacji maszyn jest metoda zależna od ich stanu technicznego. W metodzie eksploatacji maszyn zależnej od ich stanu technicznego każda maszyna trak-

towana jest w sposób indywidualny. Czas remontów nie jest z góry sztywno zaplanowany, tylko uwarunkowany stanem technicznym danej maszyny. Remont maszyny przeprowadzamy tylko wtedy, gdy jest on konieczny. Wcześniej systematycznie wykonuje się pomiary diagnostyczne maszyn, określa się ich stan techniczny, indywidualnie dla każdej maszyny. Dzięki pomiarom diagnostycznym można stwierdzić początek pojawienia się uszkodzenia, a następnie obserwować jego rozwój, określać trend zmian.

Eksploatacja maszyn zależna od ich stanu technicznego jest strategią prowadzenia eksploatacji maszyn technicznie i ekonomicznie najkorzystniejszą, coraz częściej stosowaną w krajowych zakładach przemysłowych. W gospodarce krajów o dużej kulturze technicznej jest strategią dominującą. Strategia ta, obok korzyści ekonomicznych typu: wydłużenie okresów międzyremontowych, zwiększenie wydajności i niezawodności maszyn, eliminacji niepotrzebnych wymian podzespołów, skrócenia czasu napraw, zmniejszenia kosztów magazynowych, wymusza stały postęp techniczny, zwłaszcza w obszarze podnoszenia poziomu wiedzy przez kadrę techniczną.

Jedną z możliwych dróg do obniżenia kosztów działalności w przedsiębiorstwach, jest objęcie całego parku maszynowego kompleksowym programem zabezpieczenia, diagnostyki i zarządzania maszynami (systemem nadzoru maszyn). System monitorowania i zabezpieczeń realizuje funkcję ochrony maszyn przed uszkodzeniami lub katastrofalnymi zniszczeniami w sytuacjach pogorszenia się jej stanu dynamicznego. System taki w połączeniu z odpowiednimi torami pomiarowymi

pozwała zrealizować pełny nadzór zespołów maszynowych. Informacja o szybkości zmian stanu technicznego pozwala określić przewidywany czas niezbędny do dokonania naprawy maszyny, w wielu sytuacjach zakres takiej naprawy, a więc w konsekwencji czas potrzebny na realizację zaplanowanych prac. Można powiedzieć, że właściwa gospodarka remontowa prowadzi do całkiem nowego pojęcia związanego z eksploatacją posiadanego parku maszynowego-zarządzania maszynami. Zarządzanie maszynami umożliwia obniżenie kosztów produkcji, umożliwia wybór do eksploatacji maszyn o najlepszym stanie technicznym, planowania zarówno zakresów jak i kosztów remontów. Osiągnięcie tych celów jest możliwe, gdy systemy nadzoru maszyn zostaną uzupełnione systemami akwizycji danych diagnostycznych, ich archiwizacji i wizualizacji, systemami przetwarzania tych danych i ich analizy oraz systemami dostarczającymi informacji o stanie maszyn.

Uzasadnione organizacyjnie i ekonomicznie jest utrzymanie nadzoru diagnostycznego (Wydziałów Diagnostyki lub Wydziałów Diagnostyki i Kontroli Jakości) maszyn i urządzeń w strukturach właścicielskich przedsiębiorstwa. □

Literatura:

1. Bently Nevada Corporation: *Rotating Machinery Information Systems and Services. Applications Note. Minden, 1990.*
2. Brüel & Kjær: *Systematic Machine Condition Monitoring. Applic. notes BO 0299-11.*
3. Brüel & Kjær: *Peak and Envelope Analysis for Bearing Fault Detection. Applic. notes BO 0286-11.*
4. Brüel & Kjær: *Machine Condition Monitoring using Vibration Analysis. Applic.*

notes BO 0247-11.

5. Brüel & Kjær: *Machine Condition Monitoring using Vibration Analysis. Applic. notes BO 0253-11.*

6. Brüel & Kjær: *Envelope analysis the key to rolling - element bearing diagnosis. Application notes BO 0187-11.*

7. Brüel & Kjær Condition Monitoring Systems Division: *Compass Applic. notes BP 1053-13.*

8. Brüel & Kjær, *Wibracje i wstrząsy, Nota Aplikacyjna, BR0106.*

9. Dwojak J.: *Opracowanie efektywnej diagnostyki eksploatacyjnej zespołów maszynowych w energetyce na przykładzie PGE Elektrowni OPOLE S.A. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole, 2012.*

10. Dwojak J., Szymaniec S.: *Diagnostyka eksploatacyjna zespołów maszynowych w energetyce. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt nr 344.*

11. PN-ISO 10816-1. *Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Wytyczne ogólne.*

12. PN-ISO 7919-1, 2, 3. *Drgania mechaniczne maszyn z wyłączeniem maszyn tłokowych. Pomiary drgań wałów wirujących i kryteria oceny. Część 1, część 2, część 3.*

13. SKF: *Integrated Condition Monitoring 2004.*

14. SKF: *Integrated Condition Monitoring 2014.*

15. SKF Technology Conference: *Beyond 16-19/05/2000.*

16. Szymaniec S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, nr 333.*

”

Jedną z możliwych dróg do obniżenia kosztów działalności w przedsiębiorstwach, jest objęcie całego parku maszynowego kompleksowym programem zabezpieczenia, diagnostyki i zarządzania maszynami