

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
I N S T Y T U T M A S Z Y N P R Z E P Ł Y W O W Y C H

**PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPŁYWOWYCH**

**TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY**

94

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machines

RADA REDAKCYJNA - EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
WŁODZIMIERZ PROSNAK · ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN)
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS

EDWARD ŚLIWICKI - P. O. REDAKTOR - EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN

ul. Gen. Józefa Fischera 14, 80-952 Gdańsk, skr. poczt. 621, tel. 41-12-71 wew. 141

ISSN 0079-3205

WYDAWCA: Redakcja Wydawnictw Ciągłych IMP PAN

80-952 Gdańsk, skrytka poczt. 621, tel. 41-12-71

Skład komputerowy A. D. Kardaś

Drukarnia: Chromatografia w Rumii

JAN KICIŃSKI

Gdańsk

Koncepcja "inteligentnych" komputerowych systemów diagnostyki turbozespołów energetycznych

Praca przedstawia koncepcję komputerowych systemów diagnostyki turbozespołów wykorzystujących metody sztucznej inteligencji wraz z systemem pozyskiwania wiedzy. Przedstawiono też szkielet zamierzeń badawczych nakierowanych na tego rodzaju diagnostykę.

Zamieszczony został krótki przegląd systemów dozoru i diagnostyki turbozespołów w energetyce polskiej i możliwości ich rozwoju w kierunku systemów "inteligentnych". Praca zawiera też głębszą ocenę możliwości badań symulujących uszkodzenia turbozespołów i komputerowego opisu jego stanów dynamicznych. Przeprowadzono analizę przydatności badań symulacyjnych pod kątem pozyskiwania pożądanych relacji diagnostycznych.

Praca przedstawia również koncepcję centrum informatycznego pracującego na potrzeby całej energetyki w zakresie tworzenia i rozwoju systemów ekspertowych. Systemy ekspertowe określane też są w polskiej literaturze terminem "systemy doradcze". Oba te terminy stosowane są w pełni zamiennie. Ich określenie w języku angielskim - "Expert systems".

1. Uwagi i założenia wstępne

W nowoczesnych technologiach wytwarzania i przetwarzania energii maszyny wirnikowe, głównie duże zespoły energetyczne, są maszynami wyjątkowo odpowiedzialnymi a nawet krytycznymi. Nieprzewidziane wyłączenie z ruchu tych maszyn spowodowane złym stanem technicznym grożącym awarią, jak i nieuzasadnione ze względu na dobry stan techniczny odstawienie do remontu przynosi znaczne straty.

Współczesne środki techniczne do obserwacji i analizy charakterystycznych cech dynamicznych maszyny pozwalają ostrzegać o pojawieniu się uszkodzeń elementów maszyny i ocenić bieżący stan techniczny oraz pozwalają w pewnym stopniu prognozować dalszą bezawaryjną jej pracę. Są to jednak możliwości zbyt skromne, biorąc pod uwagę wymogi stawiane dużym zespołom energetycznym a także koszty ich eksploatacji.

Celowym i rozsądnym wydaje się wprowadzenie do praktyki nadzoru diagnostycznego komputerów o stosunkowo dużych możliwościach obliczeniowych pozwalających nie tylko na kontrolę symptomów diagnostycznych, ale również na rozbudowaną analizę ich zmian w czasie oraz prognozowanie stanów granicznych maszyny.

Dalszym krokiem w tym kierunku byłoby wykorzystanie możliwości jakie stwarza dziedzina informatyki zwana "sztuczną inteligencją" i budowa rozwiniętych systemów ekspertowych. Stanowiłyby one najwyższą formę komputerowej diagnostyki maszyn wirnikowych, w tym przede wszystkim turbozespołów energetycznych. Aby taki system zbudować, należy wcześniej rozwinąć i zmodyfikować istniejące metody prognozowania, obróbki sygnałów pomiarowych i budowy relacji diagnostycznych oraz opracować nową bazową wersję sprzętu komputerowego, układów wejścia i wyjścia, układów transmisji danych i komunikacji z pozostałymi systemami pomiarowymi. Należy też rozwiązać zagadnienia związane ze strukturalizacją i reprezentacją wiedzy eksperta a także kwestie związane z doбором i stosowaniem języka oprogramowania ekspertowego, a więc należy rozwiązać szereg problemów w zakresie tzw. "inżynierii wiedzy". Myśląc o diagnostyce komputerowej na poziomie przetwarzania "inteligentnego" niezbędnym staje się także posiadanie rozbudowanych narzędzi do komputerowego opisu stanów dynamicznych i uszkodzeń turbozespołów energetycznych, a więc niezbędne jest doświadczenie w zakresie matematycznego modelowania pracy i uszkodzeń maszyny wirnikowej. Komputerowa symulacja uszkodzeń maszyny wirnikowej stwarza nie tylko interesujące możliwości pozyskiwania pożądaných relacji diagnostycznych i tym samym budowy ogólnego modelu diagnostycznego turbozespołu, ale również stanowić może istotny składnik systemu pozyskiwania wiedzy, a więc systemu realizującego proces rozwoju i kształcenia "komputerowego eksperta" w zakładzie pracy.

Rys. 1 przedstawia zestawienie, w ujęciu dość kompleksowym, tematów związanych z zagadnieniem wysokorozwiniętej komputerowej diagnostyki turbozespołów energetycznych. Wynika stąd, że budowa systemów ekspertowych w energetyce wymaga integracji wysiłków wielu zespołów naukowych i technicznych w kraju. Jest więc to zamierzenie długofalowe i tym samym kosztowne. Z drugiej jednak strony realizacja powyższego zamierzenia wydaje się być niezwykle celowa i wręcz konieczna biorąc pod uwagę spodziewane efekty. Kompleksowy system "inteligentnej" diagnostyki turbozespołów energetycznych umożliwia bowiem szeroko pojętą optymalizację ruchu i działania profilaktyczne zapobiegające awariom lub zmniejszające ich skutki, racjonalizację remontów oraz poprawę bezpieczeństwa w różnych warunkach eksploatacji. Poniesione nakłady mogą się więc szybko zwrócić. Nie bez znaczenia są również efekty niewymierne w postaci zaplecza naukowego związanego z budową i rozwojem komputerowych systemów ekspertowych wykorzystujących metody sztucznej inteligencji dla innych maszyn wirnikowych i nie tylko wirnikowych. Opóźnienie energetyki polskiej w tej dziedzinie w stosunku do wysoko rozwiniętych krajów zachodnich sięga już wiele lat. W energetyce polskiej nie pracuje ani jeden "inteligentny" system ekspertowy.

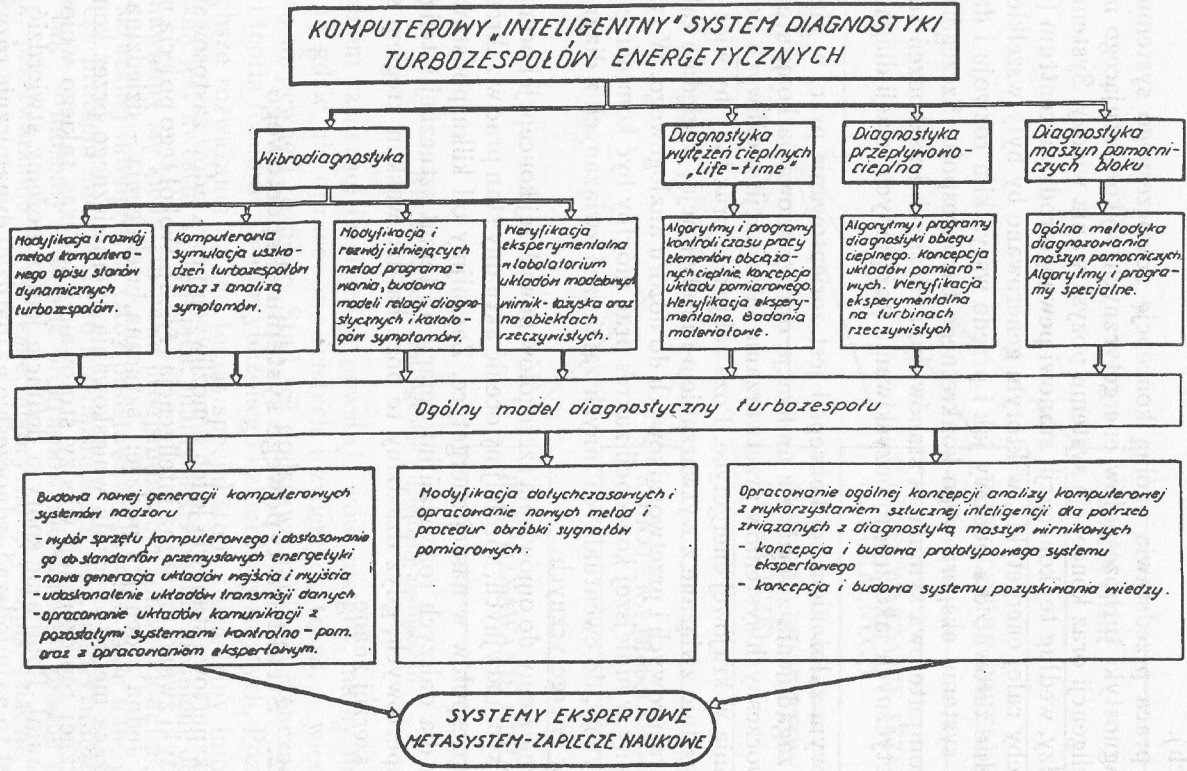


Fig. 1. Zakres prac badawczych związanych z komputerowym systemem diagnostyki turboszespolów energetycznych

Diagnostyka "konwencjonalna" polegająca na przetwarzaniu informacji przez komputer (widma, wykresy, trajektorie) wdrażana jest zaledwie na kilku blokach energetycznych).

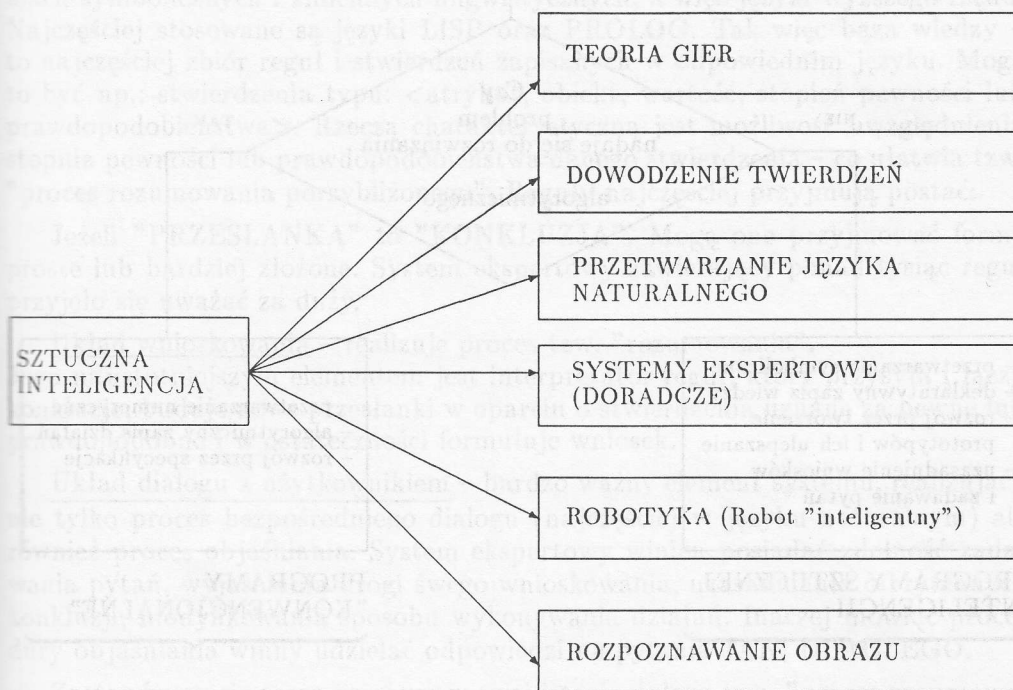
Niniejsza praca przedstawia ogólną koncepcję nowoczesnego systemu komputerowej diagnostyki turbozespolów energetycznych wykorzystującego metody sztucznej inteligencji oraz koncepcję systemu pozyskiwania wiedzy. System pozyskiwania wiedzy, według tej koncepcji, stanowi pewnego rodzaju centrum (pracujące na potrzeby całej energetyki), w którym generowane by były wszelkie informacje niezbędne zarówno dla budowy jak i przede wszystkim rozwoju i dalszego "kształcenia" systemu ekspertowego konkretnego turbozespolu. Szczególną rolę odgrywa tu komputerowa symulacja stanów dynamicznych i uszkodzeń turbozespolów energetycznych jako źródło pozyskiwania pożądanych relacji diagnostycznych.

Podstawowym założeniem tej koncepcji jest zorientowanie prac, w pierwszej kolejności na zagadnienia związane z unifikacją oprogramowania komputerowego i budową nowoczesnych systemów przetwarzania informacji, możliwych do szerokiego stosowania w krajowej energetyce. Poza zakresem prac były by więc zagadnienia bezpośrednio związane z wytwarzaniem i modyfikacją, względnie zakupem zestawów aparaturowych i przetwornikowych do dozoru analogowego. W tym sensie proponowany w niniejszej koncepcji zakres prac mógłby być komplementarny, a nie alternatywny, do ewentualnych innych zamierzeń związanych z diagnostyką turbozespolów energetycznych.

Zanim przejdziemy do omówienia szczegółów powyższej koncepcji i oceny możliwości badań symulacyjnych, spróbujmy ocenić aktualny stan prac w zakresie diagnostyki turbozespolów w naszej energetyce. Zaczniemy od kilku podstawowych i niezbędnych dla dalszych rozważań informacji na temat sztucznej inteligencji i systemów ekspertowych, gdyż dziedziny te poza bardzo wąskim kręgiem specjalistów, nie są szerzej znane.

2. Struktura typowego systemu ekspertowego

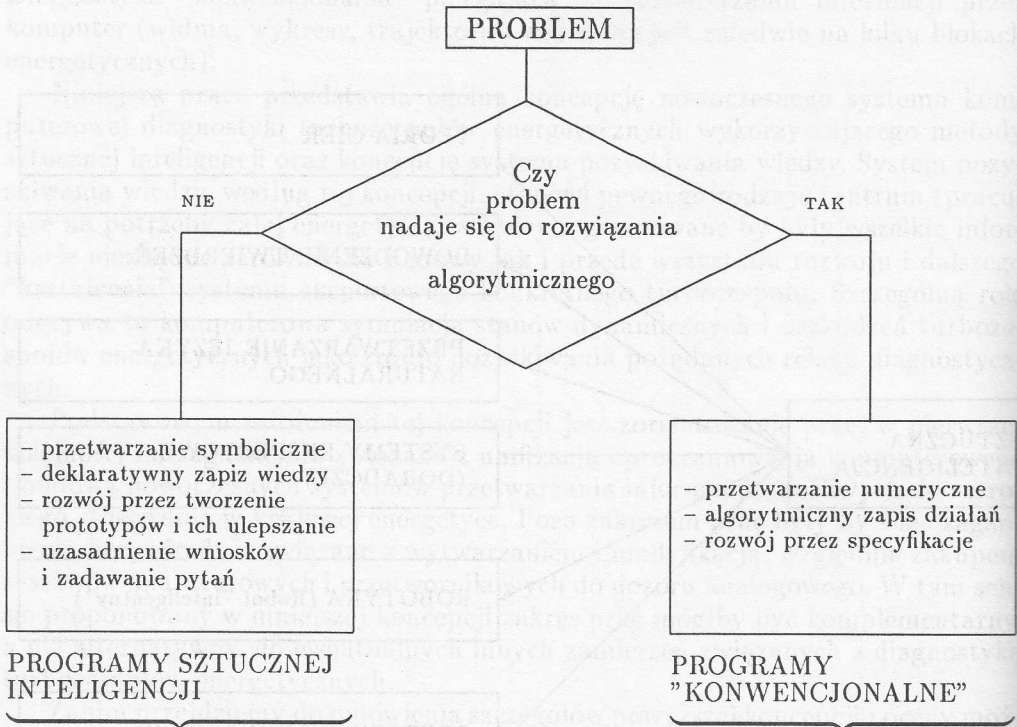
Systemy ekspertowe stanowią jeden z możliwych przykładów zastosowań dziedziny informatyki zwanej sztuczną inteligencją (rys.2). Wokół tego pojęcia narosło wiele sporów. Jedna z definicji podaje: "sztuczna inteligencja – dziedzina informatyki dotycząca metod i technik wnioskowania symbolicznego przez komputer oraz symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania" [Feigenbaum]. Pomijając spory o definicję jedno możemy stwierdzić z całą pewnością; jest to najmłodsza i jednocześnie najbardziej dynamicznie rozwijająca się dziedzina informatyki. Wraz z rozwojem komputerów elektronicznych piątej generacji o gigantycznej wprost mocy obliczeniowej oraz komputerów optycznych w których sieci połączeń wzorowane są na połączeniach neuronów w ludzkim mózgu (tzw. komputery neuronowe) – rośnie zachwyt i oczekiwania związane z tą dziedziną wiedzy. Szczególnie dużo pochlebnych opinii znaleźć można w literaturze amerykańskiej.



Rys. 2. Sztuczna inteligencja - dziedziny zastosowań

Problem sztucznej inteligencji powstaje wówczas gdy mamy do czynienia z dziedziną gdzie nie opracowano ścisłych i zwięzłych teorii, a więc gdzie informacje są niepewne i rozmyte. Stąd też podstawą naukową sztucznej inteligencji stanowi teoria rozumowania przybliżonego i zbiorów rozmytych. Pozostawmy jednak głębsze rozważania na ten temat specjalistom z dziedziny informatyki. Dla nas ważna jest kwestia następująca: mamy jakiś ogólny problem do rozwiązania i zastanawiamy się kiedy stosować programowanie konwencjonalne, a kiedy programy sztucznej inteligencji. Otóż podstawowe pytanie jakie należy tu postawić brzmi: czy problem nadaje się do rozwiązania ścisłego, algorytmicznego? (rys 3). Jeżeli "tak" – możemy stosować programowanie konwencjonalne o cechach takich jak: przetwarzanie numeryczne, algorytmiczny zapis działań, rozwój przez specyfikację. Jeżeli "nie" – można rozważyć możliwość zastosowania programów i metod sztucznej inteligencji charakteryzujących się przetwarzaniem symbolicznym, deklaratywnym zapisem wiedzy, rozwojem przez tworzenie i ulepszanie prototypów¹.

¹Użyta tu terminologia "rozwój przez specyfikację", "deklaratywny zapis wiedzy" i.t.d. stanowi podstawowe pojęcia używane w dziedzinie informatyki zwanej "sztuczną inteligencją". Ich sens i znaczenie znajdzie Czytelnik w każdej monografii z tej dziedziny np. [1].



Rys. 3. Programy sztucznej inteligencji a programy konwencjonalne

Wróćmy jednak do systemów ekspertowych jako najbardziej interesującego z punktu widzenia diagnostyki maszyn przykładu zastosowania metod sztucznej inteligencji. Podobnie jak w przypadku pojęcia "sztuczna inteligencja" również definicja systemu ekspertowego nie jest ścisła i jednoznaczna. Jedną z popularnych definicji brzmi: "program wykorzystujący wiedzę i procedury rozumowania dla wspomaganie rozwiązywania problemów na tyle trudnych, że do ich rozwiązania wymagana jest pomoc eksperta" [Feigenbaum].

Typowy system ekspertowy posiada następujące charakterystyczne elementy (rys.4):

Baza danych – element systemu zawierający informacje stale o diagnozowanym obiekcie oraz zmienne pochodzące np.: z pomiarów cech charakterystycznych. Baza danych może zawierać też informacje już odpowiednio przetworzone.

Baza wiedzy – naistotniejszy element systemu stanowiący w swej istocie odpowiednio przetworzoną wiedzę eksperta. Wiążą się z tym specyficzne zagadnienia z zakresu tzw. "inżynierii wiedzy" a mianowicie problemy strukturalizacji wiedzy i ogólnego formalizmu jej przekazywania oraz problemy reprezentacji wiedzy. Wśród wielu możliwych sposobów reprezentacji wiedzy najbardziej powszechne są "stwierdzenia" i "reguły".

Do powyższych zagadnień dochodzą jeszcze kwestie związane z językiem programowania. Powinny być to języki umożliwiające swobodne działania na wyrażeniach symbolicznych i zmiennych lingwistycznych, a więc języki wyższego rzędu. Najczęściej stosowane są języki LISP oraz PROLOG. Tak więc baza wiedzy – to najczęściej zbiór reguł i stwierdzeń zapisanych w odpowiednim języku. Mogą to być np.: stwierdzenia typu: <atrybut, obiekt, wartość, stopień pewności lub prawdopodobieństwa>. Rzeczą charakterystyczną jest możliwość uwzględnienia stopnia pewności lub prawdopodobieństwa danego stwierdzenia – co ułatwia tzw. "proces rozumowania przybliżonego". Reguły najczęściej przyjmują postać:

Jeżeli "PRZESŁANKA" to "KONKLUZJA". Mogą one przyjmować formy proste lub bardziej złożone. System ekspertowy zawierający ponad tysiąc reguł przyjęło się uważać za duży.

Układ wnioskowania – realizuje proces tzw. "rozumowania". Jego najistotniejszym elementem jest interpretator reguł, który przysyła i łączy konkluzje, buduje nowe przesłanki w oparciu o stwierdzenia uznane za pewne lub prawdopodobne i w ostateczności formuluje wniosek.

Układ dialogu z użytkownikiem – bardzo ważny element systemu, realizujący nie tylko proces bezpośredniego dialogu (najczęściej w języku naturalnym) ale również proces objaśniania. System ekspertowy winien posiadać zdolność zadawania pytań, wyjaśniania drogi swego wnioskowania, uzasadniania otrzymanych konkluzji, modyfikowania sposobu wykonywania działań. Inaczej mówiąc procedury objaśniania winny udzielać odpowiedzi na pytania JAK; DLACZEGO.

Zastanówmy się teraz na czym w swej istocie polega tzw. "proces rozumowania". Wokół tego terminu, narosło wiele nieporozumień i nieuzasadnionych oczekiwań. Podany przez nas schemat systemu ekspertowego, chociaż w wersji typowej, prostej i tylko jednej z wielu możliwych, może stanowić przykład ułatwiający zrozumienie istoty "sztucznej inteligencji". Otóż jeżeli uruchomimy mechanizm w którym konkluzja reguły prostej staje się przesłanką reguły bardziej złożonej (metareguły) z uwzględnieniem stopnia prawdopodobieństwa przesłanek i w oparciu o język umożliwiający działania na wyrażeniach symbolicznych i kontynuować będziemy ten proces aż do emisji konkluzji końcowej – to mamy do czynienia z procesem "rozumowania" realizowanym przez komputer.

Zauważymy natychmiast, że w porównaniu z intelektem człowieka proces "rozumowania" komputera wypada bardzo skromnie i to niezależnie od mocy obliczeniowej. Rozumowanie komputera zawsze będzie pozbawione dwóch cech tak charakterystycznych dla ludzkiego umysłu a mianowicie: intuicji i zdrowego rozsądku. Oczywiście poza możliwościami komputera pozostaje cała sfera związana z tzw. uczuciowością wyższą człowieka, chociaż w odniesieniu do diagnozowania maszyny zagadnienia te mają mniejsze znaczenie.

System ekspertowy, choćby najbardziej doskonały, nie zastąpi człowieka i nie wyręczy go z podejmowania decyzji. Może natomiast być doskonałym doradcą, ułatwiającym pracę człowieka wszędzie tam gdzie zagadnienia są trudne, wymagające wiedzy eksperta.

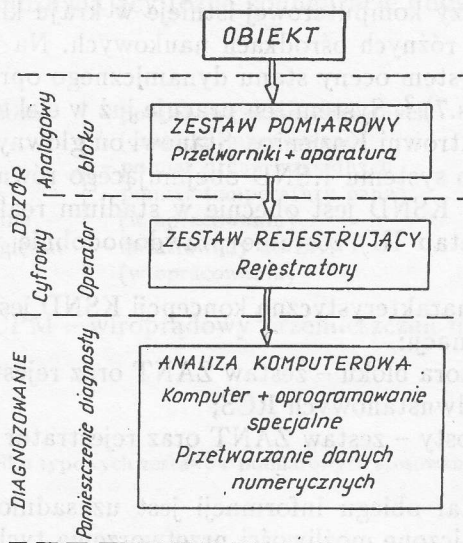
Historycznie ujmując pierwsze systemy ekspertowe powstały w dziedzinie medycyny w latach siedemdziesiątych. Obecnie w przodujących krajach zachodnich są one dość powszechnie stosowane w technice w tym i w energetyce zwłaszcza jądrowej. Stopień trafności ocen stawianych przez systemy ekspertowe np.: w francuskiej energetyce jądrowej szacowany jest na 60÷70%. W pozostałych przypadkach komputer stwierdza NIE WIEM. Można sądzić, iż powyższy stopień trafności jest zbyt mały; trzeba jednak wziąć pod uwagę jak bardzo złożonym obiektem jest współczesny turbospół dużej mocy i jak wiele zakłóceń zupełnie przypadkowych może mieć miejsce. Z drugiej strony odpowiedź NIE WIEM czyni system ekspertowy systemem otwartym umożliwiającym proces ciągłego doskonalenia i kształcenia, a więc wzbogacania głównie bazy wiedzy. Stąd też niezwykle istotnym elementem każdego systemu ekspertowego jest jego system pozyskiwania wiedzy.

Interesujące informacje na temat systemów ekspertowych znaleźć można w pierwszym polskim opracowaniu monograficznym [1].

3. Systemy nadzoru i diagnostyki stosowane w krajowej energetyce

Stosowane lub projektowane w naszych elektrowniach systemy nadzoru i diagnostyki składają się z trzech charakterystycznych podsystemów (rys.5):

- zestaw pomiarowy wraz ze stosowną aparaturą,
- zestaw rejestrujący,
- komputer wraz z oprogramowaniem specjalnym.



Rys. 5. Ogólna struktura systemów nadzoru i diagnostyki

Oczywiście nie wszystkie turbozespoły posiadają cały zestaw podsystemów. Podsystemy te są ponadto realizowane w różnych zakresach w zależności od wielkości i możliwości elektrowni.

W zakresie dozoru analogowego sytuacja w naszej energetyce jest mocno zróżnicowana. Trzeba stwierdzić, iż nie ma jednolitego, sprawdzonego zestawu przetworników i aparatury. Pomijając mocno przestarzałe zestawy firmy LMZ oraz stare przetworniki firmy Philips, z ciekawszych zestawów wyróżnić można następujące (rys.6):

- zestaw firmy IASE - wdrożony na kilku blokach w elektrowni Belchatów,
 - RMS-700 firmy Philips - wdrożony na dwóch blokach w elektrowni Kozienice.
- Jest to zestaw drogi, ale zapewniający duże możliwości pomiaru i kontroli,
- ZANT - firmy Energopomiar - zestaw uniwersalny umożliwiający różne konfiguracje pomiarowe i dowolną ilość torów.

Do chwili obecnej trwa zbieranie doświadczeń i ocena pracy poszczególnych zestawów. Trudno ocenić, który z prezentowanych zestawów okaże się najbardziej przydatny i tym samym najbardziej przyszłościowy. Sytuację dodatkowo komplikuje fakt, iż o obecność w naszej energetyce zabiega szereg firm zagranicznych oferując kompletne zestawy do nadzoru i diagnostyki turbozespołów energetycznych.

Jeśli chodzi o zestawy rejestrujące - to jeśli dozór cyfrowy jest w ogóle prowadzony, to głównie w oparciu o pojedyncze przetworniki analogowo-cyfrowe różnych firm. Na skalę przemysłową próbuje ten problem rozwiązać "Energopomiar" uruchamiając w spółce ADDA prototypy rejestratorów RCS (do sygnałów statycznych wolnych) i RCD (do sygnałów dynamicznych).

W zakresie analizy komputerowej istnieje w kraju kilka projektów i koncepcji opracowanych w różnych ośrodkach naukowych. Na uwagę zasługuje jednak przede wszystkim system oceny stanu dynamicznego opracowany w Politechnice Częstochowskiej (rys.7)². System ten pracuje już w elektrowni Jaworzno III oraz wdrażany jest w elektrowni Kozienice. Stanowi on główny element szerszego, bardziej kompleksowego systemu KSND obejmującego również zestaw pomiarowy i rejestrujący. System KSND jest obecnie w stadium realizacji, przy czym pełna jego konfiguracja (etap III) zostanie prawdopodobnie wdrożona w najbliższej przyszłości (rys.7).

Cechą najbardziej charakterystyczną koncepcji KSND jest zorientowanie systemu na dwa obiegi informacji:

- dla potrzeb operatora bloku - zestaw ZANT oraz rejestrator przebiegów statycznych wolnych i dwustanowych RCS;
- dla potrzeb diagnosty - zestaw ZANT oraz rejestrator przebiegów dynamicznych RCD.

Powyższy rozdział obiegu informacji jest uzasadniony faktem, iż operator bloku posiada ograniczone możliwości przetworzenia tych informacji.

²symbol μC na rys. 7 oznacza mikrokomputer.

Zestaw aparatury do pomiarów specjalnych – IASE
 (Energopomiar, Zamech) – Turbiny 360 MW – El. Bełchatów, bloki 9÷12

- pomiar prędkości obrotowej	1 tor pomiaru drgań względnych
- 1 tor przesuwu osiowego	3 tory wydłużeń względnych
- 6 torów drgań bezwzględnych	2 tory wydłużeń bezwzględnych
- blok pomiaru naprężeń termicznych	rejestrator zakłóceń

RMS – 700 System nadzoru i kontroli
 firmy Philips – El. Kozienice, bl. 10, turbina 500 MW

- 18 torów drgań bezwzględnych	1 tor przesuwu osiowego
- 12 torów drgań względnych	1 tor wydłużeń względnych
- 2 tory ugięcia wału	1 tor wydłużeń całkowitych
- 1 tor prędkości obrotowej	1 tor położenia zaworów regulujących

ZANT – Zestaw Aparatury do Nadzoru pracy Turbozespołów –
 "Energopomiar"

2 bl. El. Dolna Odra, 3 bl. EC Bydgoszcz, El. Ostrołęka, Halemba, Turów.
 Zestaw uniwersalny umożliwiający różne konfiguracje i dowolną ilość torów.
 Zestaw podstawowy

- pomiar prędkości obrotowej (w różnych wersjach)	- pomiar drgań bezwzględnych (czujniki importowane)
- pomiar ugięcia wału	- pomiar drgań względnych
- przemieszczenia osiowe	- pomiar temperatury panwi (w opracowaniu)
- przemieszczenia względne	- światłowody do ZANT
- przemieszczenia bezwzględne	(w opracowaniu)

Podstawowy czujnik CPM – wiropądowy przemieszczeń mechanicznych

Rys. 6. Charakterystyki kilku typowych zestawów pomiarowych stosowanych w krajowej energetyce

System oceny stanu dynamicznego

Politechnika Częstochowska – El. Jaworzno III, Koźienice

Zestaw programów specjalnych do przetwarzania danych i przybliżonej diagnozy stanu dynamicznego.

”Nadzór dynamiczny” – poziom drgań łożysk głównych

”Widmo” – analiza widmowa drgań – *FFT*

”Wibrogram” – analiza przebiegu sygnału w czasie

”Analiza harmoniczna” – jednoczesna obserwacja poziomu kilku pierwszych harmonicznych ze wszystkich łożysk

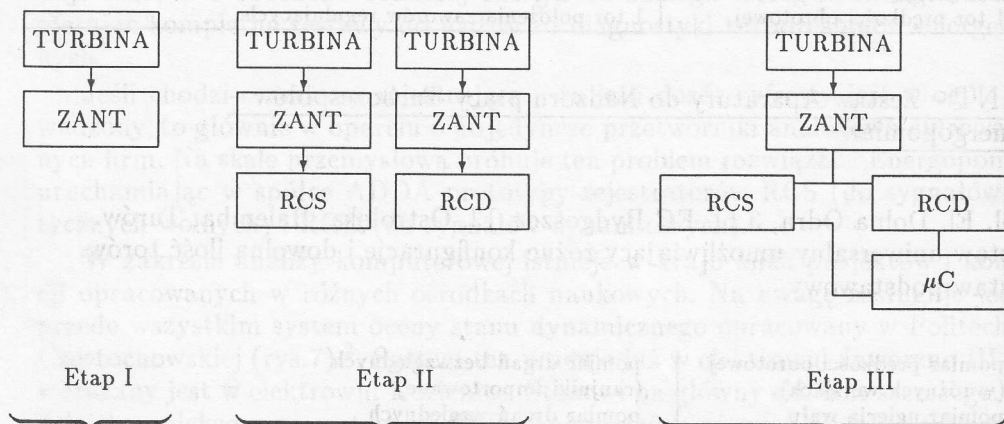
KSND – Komputerowy System Nadzoru i Diagnostyki

turbozespołów – ”Energopomiar”, Pol. Częstoch., Pol. Śląska

KSND tworzą:

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| 1 – zestaw pomiarowy ZANT | } Energopomiar |
| 2 – rejestratory RCS i RCD | |
| 3 – komputer z oprogramowaniem | |

Etapy wdrażania



Możliwości KSND:

1 – analiza harmoniczna, jednoczesna wybranych sygnałów w postaci:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| – widma | } Pol. Częstochowska
Pol. Śląska |
| – wykresów (kaskadowych, Bode, Nyquista) | |
| – trajektorie wirowania wału | |

2 – uzyskiwanie trwałych kopii wybranych przebiegów

3 – przepływanie danych z RCS i RCD aktualnych i z przeszłości

Rys. 7. Systemy analizy komputerowej

System KSND umożliwia:

- analizę harmoniczną (widma);
- budowę różnego rodzaju wykresów i trajektorii wirowania wału;
- uzyskiwanie trwałych kopii wybranych przebiegów.

4. Ogólna koncepcja "inteligentnego" systemu komputerowej diagnostyki turbozespołów energetycznych

Spróbujmy teraz zestawić to wszystko co w zakresie komputerowej diagnostyki zrobiono w naszej energetyce ze strukturą pełnego systemu ekspertowego przedstawionego w rozdziale 2. Otrzymamy wówczas schemat (rys.8) gdzie dotychczasowy krajowy dorobek w postaci zestawu pomiarowego, rejestrującego i oprogramowania umożliwiającego analizę komputerową mieści się powyżej grubej linii przerywanej. Łatwo zauważyć, że możliwości przedstawionego wcześniej systemu KSND, zakładając jego pełną realizację, stanowią zaledwie bazę danych systemu ekspertowego z prawdziwego zdarzenia. Brakuje tu całego poziomu przetwarzania "inteligentnego" oraz przede wszystkim systemu pozyskiwania wiedzy, który określono umownym terminem "metasystem".

Przedstawmy teraz koncepcję "inteligentnego" systemu komputerowej diagnostyki turbozespołów energetycznych, który mógłby być realizowany wysiłkiem kilku ośrodków naukowo-technicznych w kraju a następnie wdrożony do praktyki eksploatacyjnej w energetyce polskiej.

Koncepcja ta zakłada, w najbardziej ogólnym zarysie, budowę tzw. poziomu przetwarzania "inteligentnego" (a więc bazy wiedzy oraz układów wnioskowania i dialogu z użytkownikiem) współpracującego z jednym z istniejących zestawów pomiarowych i rejestrujących oraz budowę pewnego rodzaju centrum informatycznego stanowiącego zaplecze naukowe i tym samym system pozyskiwania wiedzy (metasystem). Inaczej mówiąc koncepcja ta zakłada budowę rodziny systemów ekspertowych dla konkretnych turbozespołów wraz z budową centrum, pracującego na potrzeby całej energetyki, w którym systemy doradcze byłyby generowane a przede wszystkim uzupełniane, w miarę zdobywania doświadczeń, w dodatkową wiedzę. Powyższe centrum pełniłoby więc rolę pewnego nadrzędnego metasystemu.

Z koncepcji tej wynika charakterystyczny podział bazy wiedzy na dwie części:

- bazy wiedzy I - stanowiącej zbiór stwierdzeń i reguł uzyskanych z prostych modeli relacji diagnostycznych oraz z bezpośredniej wiedzy eksperta a zwłaszcza doświadczonego eksploatatora.
- bazy wiedzy II - stanowiącej zbiór stwierdzeń i reguł uzyskanych ze złożonych modeli relacji diagnostycznych analizowanych w centrum (metasystemie). Relacje te pozyskiwane by były głównie drogą komputerowej symulacji uszkodzeń turbozespołów i szczegółowej analizy w gronie ekspertów.

Metasystem generowałby więc informacje niezbędne dla bazy wiedzy II poprzez obliczenia konkretnej turbiny dla potrzeb jej systemu ekspertowego, a na-

stępnie, po wypełnieniu zadania, generowałyby potrzebne informacje dla następnej turbiny. Oczywiście pracą metasytemu kierowaliby nie diagności z elektrowni lecz wysokiej klasy specjaliści z centrum.

Cechą charakterystyczną powyższej koncepcji jest także możliwość archiwowania tych przypadków dla których odpowiedź systemu ekspertowego brzmi NIE WIEM, a następnie przesyłania ich do metasytemu celem szczegółowej analizy. Uzyskane nowe stwierdzenia i reguły przesyłane by były do bazy wiedzy systemu ekspertowego. W ten sposób realizowany mógłby być ciągły rozwój i "kształcenie" systemu ekspertowego, a cała koncepcja "inteligentnej" diagnostyki turbozespołów (łącznie z metasytemem) byłaby więc otwarta na nowe doświadczenia związane z eksploatacją turbozespołów. Rys. 8 przedstawia ogólną koncepcję takiego systemu.

Rozważmy teraz bliżej czym w istocie byłoby wspomniane centrum lub też metasytem. Strukturę funkcjonalną metasytemu przedstawia rys.9. Pod względem "hardware" metasytem tworzyłby komputer centralny wraz z urządzeniami peryferyjnymi. Można tu rozważyć sieć komputerów klasy IBM PC o wysokich możliwościach obliczeniowych i dużej pamięci operacyjnej i zewnętrznej podłączonych do systemu dysków twardych o dużej pojemności. Najbardziej istotnym elementem metasytemu byłoby oczywiście oprogramowanie. Składałoby się ono z trzech głównych modułów:

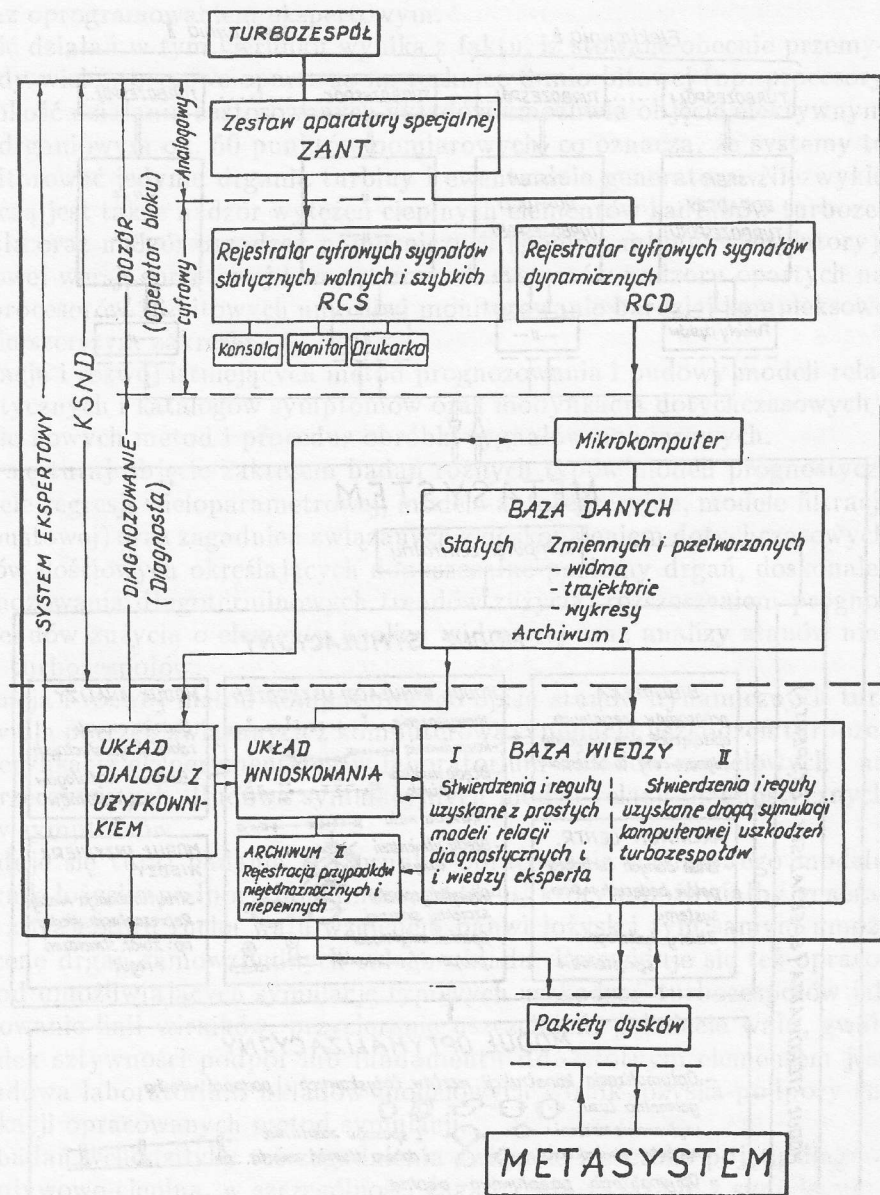
- symulacyjnego;
- optymalizacyjnego;
- sterowania.

Moduł symulacyjny składałby się z biblioteki programów specjalnych opisujących stan statyczny i dynamiczny turbozespołu, archiwum centralnego z blokami danych poszczególnych turbozespołów oraz właściwego modułu symulacji uszkodzeń. Zestaw ten umożliwi symulację typowych uszkodzeń turbozespołu (niewyważenie, rozosiowanie, pęknięcie wału itd.) a następnie analizę symptomów tych uszkodzeń i tą drogą budowanie relacji diagnostycznych i katalogów symptomów. Następnie po "przetworzeniu" tej wiedzy na język zrozumiały dla komputera (moduł inżynierii wiedzy) w postaci np. stwierdzeń i reguł, informacje te przesłane będą do bazy wiedzy konkretnego systemu ekspertowego.

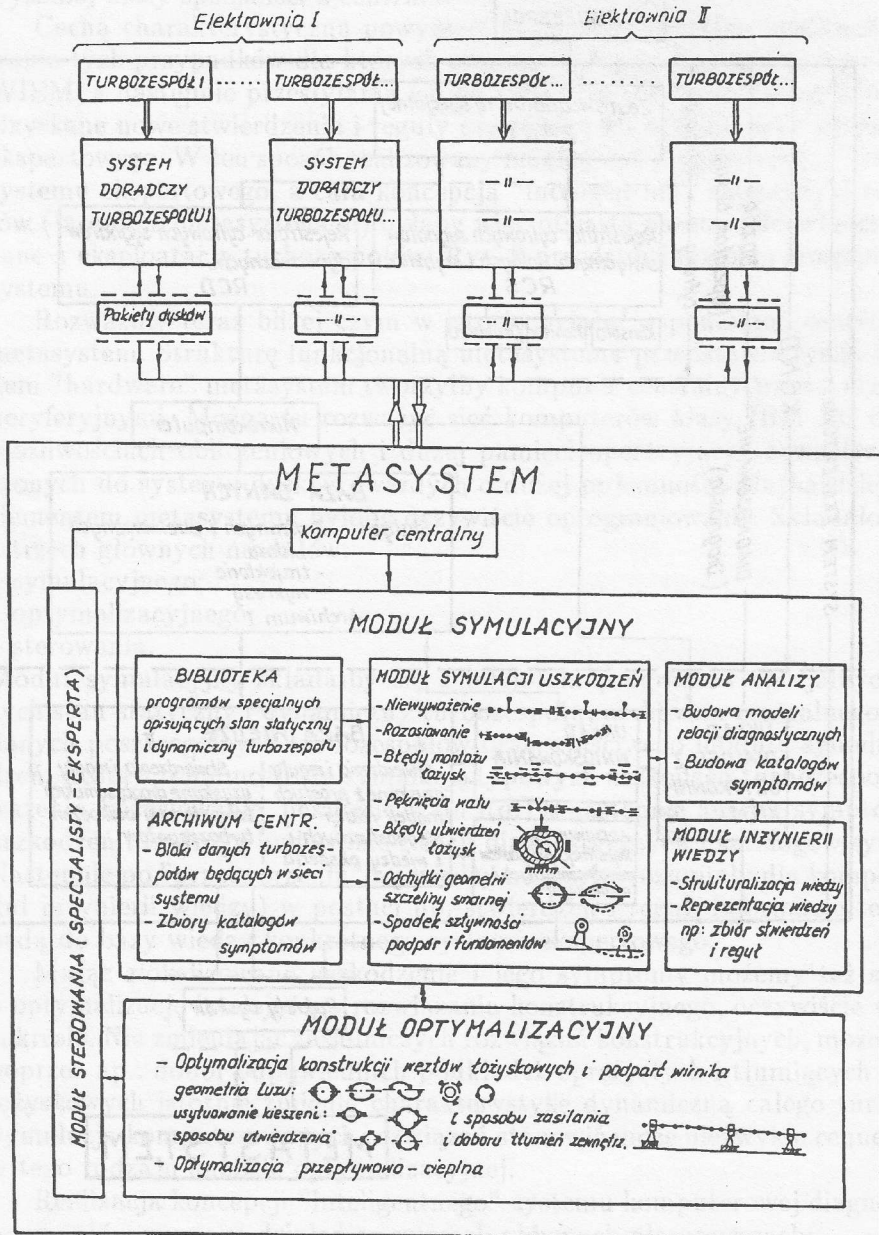
Mając zlokalizowane uszkodzenie i jego symptomy możemy też się pokusić o optymalizację istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego, oczywiście w pewnym zakresie. Nie zmieniając zasadniczych rozwiązań konstrukcyjnych, możemy jednak poprzez np.: dobór odpowiednich podkładek sprężystych i tłumiących w węzłach łożyskowych istotnie zmienić charakterystykę dynamiczną całego turbozespołu. Symulacja komputerowa tych rozwiązań stanowić może niezwykle cenne narzędzie w tego rodzaju analizie optymalizacyjnej.

Realizacja koncepcji "inteligentnego" systemu komputerowej diagnostyki turbozespołów wymaga działań w czterech głównych płaszczyznach:

1. Budowa nowej generacji komputerowych systemów nadzoru w tym zwłaszcza:
 - wybór sprzętu komputerowego i dostosowanie go do standardów przemysłowych energetyki,
 - budowa nowej generacji układów wejścia i wyjścia,



Rys. 8. Ogólna koncepcja systemu ekspertowego wraz z systemem pozyskiwania wiedzy



Rys. 9. Struktura funkcjonowania centrum (metasystemu)

- udoskonalenie układów transmisji danych,
- opracowanie układów komunikacji z pozostałymi systemami kontrolno-pomiarowymi oraz oprogramowaniem ekspertowym.

Konieczność działań w tym kierunku wynika z faktu, iż stowane obecnie przemysłowe układy wieloprotocowe oparte są na technice 8-bitowej (np. procesory Z-80). Szybkość działania zastosowanych układów umożliwia objęcie efektywnym nadzorem drganiowym ok. 50 punktów pomiarowych, co oznacza, że systemy te mogą monitorować jedynie drgania turbiny i ewentualnie generatora. Niezwykle istotną rzeczą jest także nadzór wyżeń cieplnych elementów kadłubów turbozespolu i kotła oraz nadzór urządzeń pomocniczych (pompy, młyny, wentylatory). Budowa nowej wersji sprzętowej komputerowych systemów nadzoru opartych na układach procesorów 16-bitowych umożliwi monitorowanie bardziej kompleksowe i w znacznie szerszym zakresie.

2. Modyfikacja i rozwój istniejących metod prognozowania i budowy modeli relacji diagnostycznych i katalogów symptomów oraz modyfikacja dotychczasowych i opracowanie nowych metod i procedur obróbki sygnałów pomiarowych.

Proponuje się tutaj objęcie zakresem badań różnych typów modeli prognostycznych (modele regresji wieloparametrowej, modele autoregresyjne, modele filtracji dolnoprzepustowej) oraz zagadnień związanych z doskonaleniem dotychczasowych normatywów ilościowych określających dopuszczalne poziomy drgań, doskonaleniem prognozowania długoterminowych trendów zużycia, rozszerzeniem prognozowania trendów zużycia o elementy analizy widmowej oraz analizy stanów niestabilnych turbozespolów.

3. Modyfikacja i rozwój metod komputerowego opisu stanów dynamicznych turbozespolów dla potrzeb związanych z komputerową symulacją uszkodzeń turbozespolów. Weryfikacja eksperymentalna w laboratorium układów modelowych i na obiektach rzeczywistych. Budowa symulacyjnych modeli relacji diagnostycznych i katalogów symptomów.

Przewiduje się tutaj badania w kierunku opracowania nieliniowego modelu układu wirnik-łożysko-podpory-fundament, modelu, który umożliwiłby generację widma z trajektorii ruchu wału względem panwi łożysk i tym samym umożliwiłby ocenę drgań samowzbudnych całego układu. Przewiduje się też opracowanie metod umożliwiających symulację typowych uszkodzeń turbozespolów jak np.: rozosiowanie linii wirników, przycieranie uszczelnień, pęknięcie wału, gwałtowny spadek sztywności podpór lub fundamentu itd. Istotnym elementem jest również budowa laboratorium układów modelowych wirnik-łożyska-podpory celem weryfikacji opracowanych metod symulacji.

W zakres badań wchodziłyby też zagadnienia związane z szeroko pojętą diagnostyką przeplywowo-cieplną, w szczególności zagadnienia związane z symulacyjną oceną trendów długoterminowych parametrów określających np.: sprawność turbozespolu.

Działania w tym kierunku, z wykorzystaniem wyników prac wyszczególnionych w punkcie 2, stanowić będą zasadniczy trzon systemu pozyskiwania wiedzy (meta-systemu) oraz główne źródło informacji dla budowy tzw. ogólnego modelu diagnostycznego turbozespolu.

4. Opracowanie ogólnej koncepcji analizy komputerowej z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji, w tym zwłaszcza

- wybór języka oprogramowania, koncepcja strukturalizacji i reprezentacji wiedzy,
- opracowanie prototypowego poziomu przetwarzania "inteligentnego" (baza wiedzy, układy wnioskowania i dialogu) kompatybilnego z nową generacją komputerowych systemów nadzoru,
- opracowanie koncepcji komunikacji systemu ekspertowego z systemem pozyskiwania wiedzy (metasystemem),
- opracowanie, w oparciu o pozyskane modele relacji diagnostycznych, katalogi symptomów, zbiorów stanowiących formę reprezentacji wiedzy i tym samym stanowiących główne elementy bazy wiedzy.

Prace w tym kierunku, z wykorzystaniem prac w pozostałych punktach stwarzają podstawy dla budowy właściwych systemów ekspertowych wraz z systemem pozyskiwania wiedzy (metasystemem).

Jak widać z powyższego zestawu prac "inteligentny" system komputerowej diagnostyki turbozespołów wymaga intensywnych i wzajemnie skojarzonych badań w wielu dziedzinach.

5. Możliwości badań symulacyjnych

Modelowanie teoretyczne tak złożonego obiektu jak turbozespół jest skrajnie trudne. Turbozespół pod względem mechaniczno-dynamicznym składa się z kilku charakterystycznych podukładów:

- linii wirników;
- łożysk ślizgowych;
- stojaków łożyskowych;
- fundamentów;
- uszczelnień;
- sprzęgieł;
- układu łopatkowego i innych.

Każdy z wymienionych wyżej podukładów stanowić może odrębne, złożone zagadnienie. Tymczasem wszystkie one są ze sobą wzajemnie sprzężone i nie można ich pracy analizować oddzielnie. Sytuację znakomicie komplikuje fakt, iż co najmniej dwa podukłady są członami silnie nieliniowymi a mianowicie łożysko ślizgowe i uszczelnienia labiryntowe. Jak wobec tego rozwiązać powyższy problem?

W koncepcji opracowanej w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN dotyczącej tematyki badawczej z zakresu dynamiki złożonych układów wirnika-podpory-fundament wyróżnia się dwa tzw. "strategiczne" etapy a mianowicie (rys. 10)

- etap I – "liniowy" – w którym zakłada się liniowy model wirnika stojaków i fundamentów i kombinowany model łożysk ślizgowych (statyka-model nieliniowy, dynamika-model liniowy),
- etap II – "nieliniowy" – w którym zakłada się pełny nieliniowy model łożysk ślizgowych i uszczelnień labiryntowych przy zachowaniu liniowego modelu pozo-

stałych podukładów.

Model "liniowy" jest powszechnie stosowany w świecie. Pozwala on na dość dokładne określenie granicy stabilnej pracy układu wirnik-łożyska-fundament oraz zadowalający opis drgań wymuszonych. Wynikają jednak z niego dość istotne ograniczenia takie jak brak możliwości opisu drgań samowzbudnych i generowania widma z trajektorii czopa względem panwi łożysk ślizgowych. Trajektorria czopa w modelu liniowym zawsze będzie elipsą. Analiza trajektorii wału w łożyskach jest najbardziej efektywną metodą oceny stanu dynamicznego turbozespołu, a analiza widmowa trajektorii stwarza podstawę dla budowy większości modeli relacji diagnostycznych. W trajektorii wału kryją się bowiem interesujące informacje o drganiach samowzbudnych, wymuszonych a przede wszystkim informacje o uszkodzeniach i zakłóceniach pracy turbozespołu. Model nieliniowy układu stwarza możliwości dla tego rodzaju analizy.

Etap I - "liniowy"		
Model	Ograniczenia	Możliwości
- liniowy wirnika - kombinowany łożysk - statyka - nieliniowy - dynamika- liniowy - liniowy stojaków - liniowy fundamentów	- brak możliwości opisu drgań samowzbudnych - brak możliwości generowania widma z trajektorii (elipsa)	- zadowalająca dokładność opisu drgań wymuszonych, częstości i tłumień drgań własnych oraz granicy stabilności układu

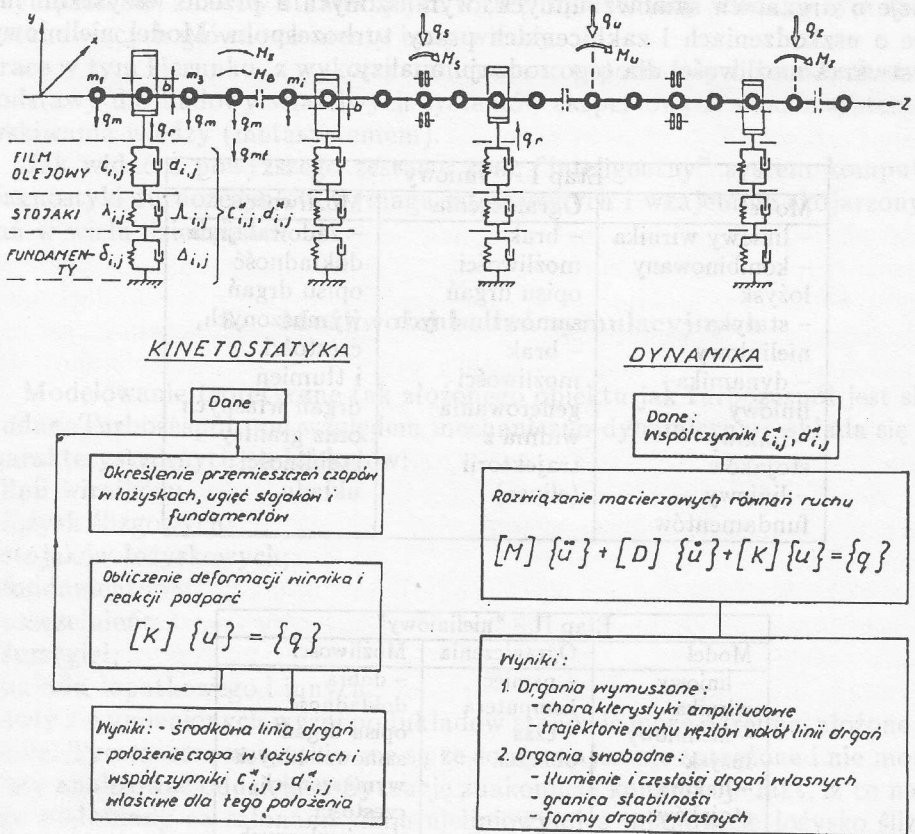
Etap II - "nieliniowy"		
Model	Ograniczenia	Możliwości
- liniowy wirnika - nieliniowy łożysk - liniowy stojaków - liniowy fundamentów - nieliniowy uszczelnień	- pamięć komputera - czas obliczeń	- dobra dokładność opisu drgań samowzbudnych wymuszonych, częstości drgań własnych, granicy stabilności - generowanie widma z trajektorii

Rys. 10. Możliwości i ograniczenia analizy "liniowej" i "nieliniowej" w dynamice wirników

5.1. Model teoretyczny turbozespołu

W IMP PAN opracowany został ogólny model teoretyczny kilku najbardziej istotnych podukładów turbozespołu a mianowicie linii wirników, łożysk ślizgowych i fundamentów. Pozostałe podukłady są w trakcie opracowania.

Za podstawę analizy w odniesieniu do wirnika, łożysk jak i fundamentów przyjęta została metoda elementów skończonych. Zrezygnowano tym samym z wcześniej stosowanej i przestarzałej już dziś metody macierzy przejścia.



Rys. 11. Ogólny model układu wirnik-podpora-fundament

W odniesieniu do wirnika przyjęty został element belkowy dwuwzłowy o ośmiu stopniach swobody z masą skupioną w węzłach z rozdziałem wg funkcji kształtu. Wirnik przedstawia zatem sobą ciąg zdyskretyzowanych do węzłów mas skupionych. Automatycznie też obliczane są masowe momenty bezwładności i momenty żyroskopowe np: tarcz wirnika. Koncepcję dyskretyzacji wirnika przedstawia rys.11. Do dowolnego węzła przyłożyć możemy dowolnie zmienne siły i

momenty wynikające z symulacji oddziaływań np: sprzęgieł, uszczelnień czy innych elementów.

Wpływ podparć wirnika modelowany jest poprzez tzw. współczynniki sztywności i tłumienia filmu olejowego łożysk ślizgowych, stojaków i fundamentów.

Całość zagadnień związanych z dynamiką złożonych układów wirnik-łożysko-fundament można rozpatrywać jako dwa, w pewnym sensie rozdzielne, zagadnienia (rys.11):

- zagadnienia kinetostatyki,
- zagadnienia dynamiki.

Taki rozdział wydaje się celowy zważywszy, że zdecydowaną większość czasu obliczeń pochłaniają zagadnienia kinetostatyki. Tu bowiem realizowany być musi proces iteracyjny z uwzględnieniem przemieszczeń czopów w łożyskach, ugięć stojaków i fundamentów oraz deformacji samego wirnika. Powyższy rozdział na zagadnienia kinetostatyki i dynamiki umożliwia pracę na komputerach w układzie równoległym (sieć komputerów podłączona do jednego "twardego" dysku). Można tak zorganizować proces obliczeń, że w trakcie liczenia zagadnień kinetostatyki na jednym komputerze, równocześnie na innych podłączonych do sieci liczymy szereg przypadków dynamiki dla uprzednio określonych współczynników sztywności i tłumienia (jako wynik obliczeń kinetostatyki).

Niezwykle użyteczny w tego rodzaju obliczeniach jest model łożyska ślizgowego i program komputerowy o nazwie DIADEF opracowany również w IMP PAN w Gdańsku. Program ten opiera się na tzw. termoelastohydrodynamicznym modelu cieplnym uwzględniającym wymianę ciepła w filmie smarnym, w panwi oraz z otoczeniem. Deformacje termosprężyste panwi określane są za pomocą przestrzennych elementów skończonych (element bryłowy 21 węzły). Program ten stwarza interesujące możliwości modelowania np: wpływu utwierdzeń w stojakach łożyskowych i zacisku wstępnego panwi (rys. 12).

Wszystkie programy komputerowe opisujące poszczególne podukłady turbozespołu zintegrowane zostały w jeden spójny system o nazwie MESWIR. System ten posiada wyraźnie rozdzielone, chociaż spójne, podsystemy związane z kinetostatyką i dynamiką wirników.

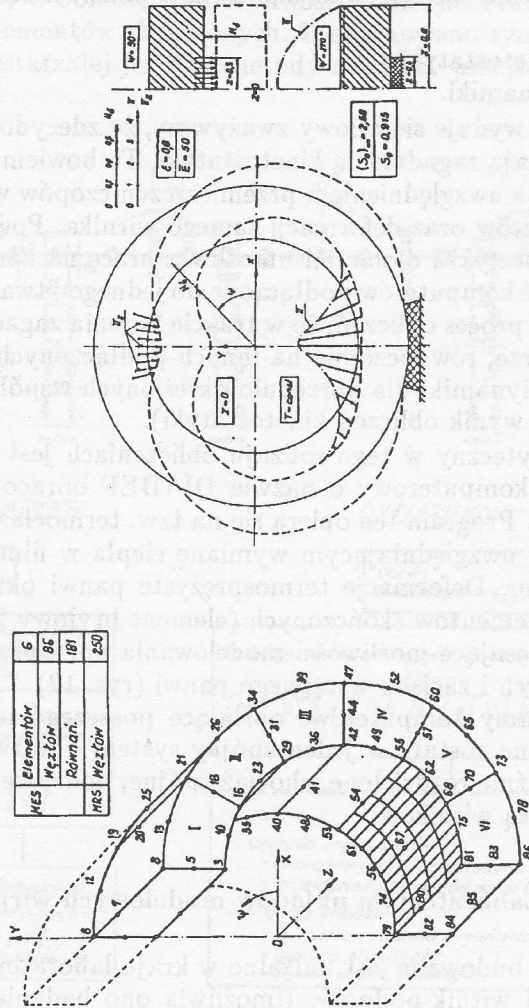
5.2. Laboratorium układów modelowych wirnik-podpory

W IMP PAN budowane jest unikalne w kraju laboratorium do badania układów modelowych wirnik-podpory. Umożliwia ono badanie różnych konfiguracji mas wirnika (tarcz) oraz podparć (łożysk ślizgowych). Średnica wału stanowiska bazowego zawiera się w granicach $80 \div 140$ mm a długość modelowej linii wirników sięga 6 m. Układ napędowy zapewnia możliwość badań przy prędkości obrotowej wirnika do 6000 obr/min.

Laboratorium wyposażone będzie w system do automatycznej rejestracji komputerowej obróbki sygnałów pomiarowych (rys.13). Zakupione już zostały niezbędne przetworniki i urządzenia do akwizycji sygnałów najlepszych firm światowych. Będzie to więc w pełni nowoczesne laboratorium o szerokich możliwościach

badan eksperymentalnych. Służyć ono będzie nie tylko do weryfikacji modeli teoretycznych, ale co ważniejsze, do generowania doświadczalnych symptomów różnych uszkodzeń. Trudno bowiem założyć, że możliwości symulacji uszkodzeń (np. pęknięcia wału wirnika) będą istniały na obiektach rzeczywistych.

PROGRAM „DIADEF”
Termoelastohydrodynamiczny model cieplny
Termosprężyste deformacje przestrzenne panwi



Rys. 12. Program komputerowy "DIADEF" opracowany w IMP PAN

5.3. Możliwości komputerowej symulacji uszkodzeń turbozespołów

Przedstawiliśmy modele i programy komputerowe do opisu statycznych i dynamicznych własności turbozespołu oraz możliwości ich weryfikacji eksperymentalnej jakimi dysponuje IMP PAN w Gdańsku. Powstaje teraz pytanie: mając ta

Weryfikacja modeli i programów komputerowych

Doświadczalna symulacja uszkodzeń

Katalogi symptomów

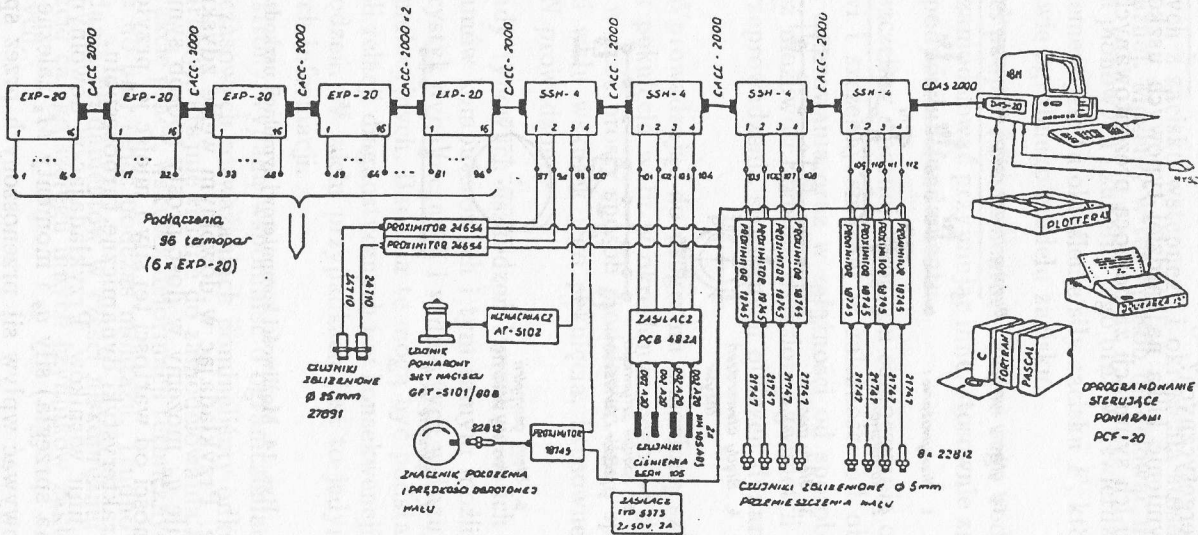
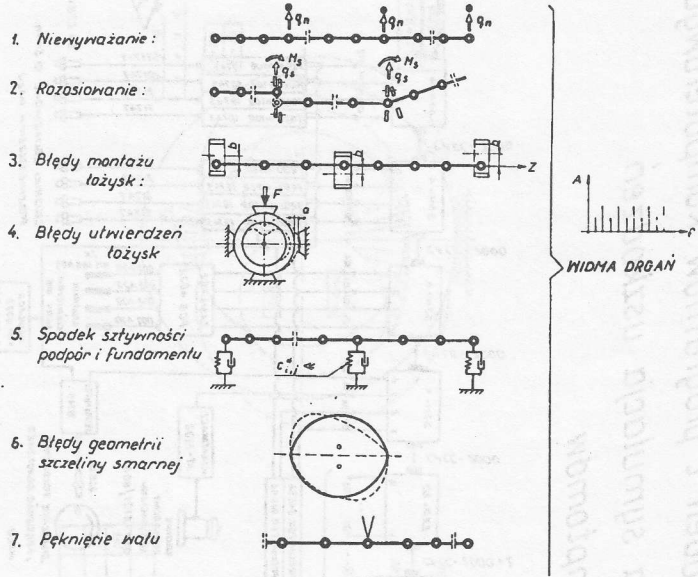


Fig. 13. Konfiguracja systemu automatyzacji pomiarów w laboratorium układów modelowych wirnik - laboratory

rozbudowane narzędzia zarówno do opisu teoretycznego jak i weryfikacji eksperymentalnej, jakie są możliwości i ograniczenia komputerowej symulacji uszkodzeń turbozespołów energetycznych?

Spróbujemy wymienić kilka najbardziej typowych uszkodzeń turbozespołu i zbadać możliwości ich symulacji za pomocą prezentowanych programów komputerowych (rys.14).

Cel główny symulacji: Budowa modeli relacji diagnostycznych i katalogów symptomów



Rys. 14. Możliwości komputerowej symulacji uszkodzeń

Niewyważenie. Przykładając w dowolnym węźle zdyskretyzowanej linii wirników wirującą siłę q_n możemy w dość prosty sposób symulować niewyważenie wirnika. W zależności od wartości tej siły i miejsc jej przyłożenia możemy otrzymywać różne charakterystyki dynamiczne turbozespołu.

Rozosiewanie linii wirników. Przykładając w dowolnym węźle (np: w węźle przypadającym na sprzęgła) siły q_s i momenty M_s zależne od kąta obrotu wału możemy odwzorowywać wpływ sił przenoszonych przez sprzęgła a spowodowanych rozosiewaniem promieniowym czy kątowym linii wirników. Określenie wartości sił q_s , momentów M_s to zupełnie odrębne zagadnienie wymagające szczegółowych badań. Prace w tym kierunku są w IM PAN prowadzone.

Błędy montażu łożysk. Chodzi tu o odchyłki osi panwi w stosunku do linii geodezyjnej wirnika. Tęgo rodzaju błędy montażowe daje się dość łatwo uwzględnić w programie wprowadzając parametry "a" i "b" jako wartości tych odchyłek

w płaszczyźnie poziomej i pionowej.

Błędy utwierdzeń łożysk w stojakach. Program posiada możliwość uwzględnienia sił pochodzących z zacisku wstępnego i określenia stosownych deformacji panwi i szczeliny smarnej. Możemy w ten sposób modelować np.: nadmierny zacisk w utwierdzeniach pionowych i zupełny jego brak w utwierdzeniach poziomych lub odwrotnie. Problemem jest tu określenie siły zacisku F , którą można jedynie oszacować na podstawie zgrubnego modelu zacisku.

Spadek sztywności podpór i fundamentu. Wpływ tego rodzaju uszkodzenia możemy dość prosto zamodelować przyjmując inne, stosownie zmniejszone współczynniki sztywności podpór lub fundamentu.

Błędy geometrii szczeliny smarnej. Program samoczynnie oblicza deformacje termosprężyste panwi i szczeliny smarnej w zależności od obciążenia łożyska, chłodzenia i rodzaju smarowania oraz w zależności od sposobu utwierdzenia w stojakach. Istnieje też możliwość zadania określonej geometrii szczeliny smarnej (np: z pomiaru) i przeprowadzenia stosownych obliczeń dynamicznych turbozespołu.

Pęknięcie wału. Wprowadzając do programu zmienioną sztywność elementu skończonego wskutek pęknięcia wału w określonym jego wycinku możemy tego rodzaju uszkodzenie w dość prosty sposób modelować. Inną sprawą jest kwestia określenia sztywności wału wskutek jego pęknięcia. Stosowne prace są w tym kierunku w IMP PAN prowadzone.

Powyższe przykłady typowych uszkodzeń i możliwości ich opisu za pomocą opracowanych programów komputerowych i tym samym możliwość budowy odpowiednich charakterystyk dynamicznych i widmowych wskazują na interesujące możliwości badań symulacyjnych. Badania te mogą być podstawą dla opracowania stosownych modeli relacji diagnostycznych i w konsekwencji katalogów symptomów różnych uszkodzeń. W wielu przypadkach jest to jedyna możliwa droga pozyskania określonych informacji.

Z drugiej jednak strony wypada wspomnieć o ograniczeniach obliczeń symulacyjnych. W dotychczasowych rozważaniach pominęliśmy odkształcenia cieplne szeregu elementów turbiny, skrajnie trudne do zamodelowania teoretycznego. Linia ugięć wirnika w trakcie pracy, wskutek deformacji termicznych, może znacznie się różnić w stosunku do linii ugięć podczas montażu. Trudno też zamodelować many fakt np.: osiadania fundamentów w części niskoprężnej turbiny, wpływu nurociągów czy wreszcie całego szeregu innych czynników zakłócających, często zupełnie przypadkowych.

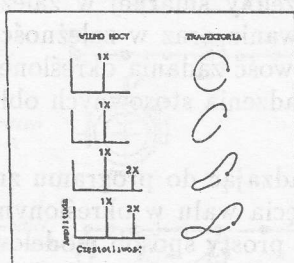
Rozważaliśmy też głównie zagadnienia diagnozowania stanów dynamicznych w zakresie niskich częstotliwości, a więc w zakresie wysokoenergetycznej struktury widma. Aczkolwiek wibrodiagnostyka niskoczęstotliwościowa pozostanie głównym obszarem badań determinujących stany maszyny, to nie można zupełnie pominąć zjawisk związanych bezpośrednio z przepływem czynnika roboczego, a więc zjawisk w zakresie niskoenergetycznych częstotliwości łopatkowych.

5.4. Przykłady relacji diagnostycznych

Przedstawmy teraz, jako ilustrację relacji diagnostycznych, trzy charakterystyczne i jednocześnie ciekawe przykłady związków pomiędzy pracą węzłów łożyskowych a symptomami pewnych stanów granicznych. Rys.15 przedstawia relacje diagnostyczne związane z przeciążeniem łożysk.

Przeciążenie łożysk

- niewspółosiowość środka panwi
- rozosiowanie linii wirników
- zbyt małe luzy w łożysku

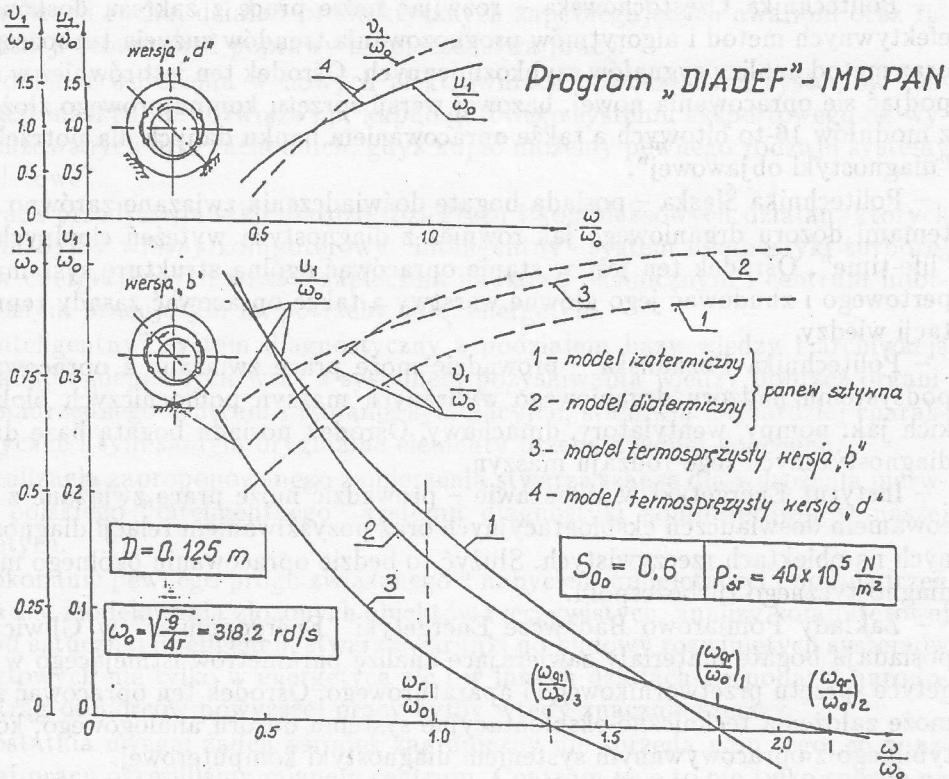


Rys. 15. Typowe relacje diagnostyczne [3]

Przeciążenie łożysk wynikać może z niewspółosiowości panwi względem linii geodezyjnej wirnika, rozosiowania linii wirników czy też zbyt małych luzów. W tego rodzaju przypadkach występują charakterystyczne związki pomiędzy kształtem trajektorii czopa (np: w przypadku drgań wymuszonych) a widmem mocy. Łożysko słabo obciążone ma trajektorię zbliżoną do okręgu lub elipsy. Widmo mocy zawiera oczywiście jeden prążek związany z prędkością obrotową 1X. W miarę wzrostu obciążenia elipsa "wydłuża się" aż do kształtu "banana". Wówczas to w widmie mocy pojawia się drugi prążek 2X, którego amplituda rośnie w miarę wzrostu obciążenia.

Rys. 16. przedstawia interesujący przykład wpływu sposobu utwierdzenia panwi łożysk ślizgowych na charakterystykę dynamiczną całego układu wirnik-łożyska. Dolny wykres ilustruje przebieg krzywych tłumienia u_1/ω_0 i częstości drgań własnych v_1/ω_0 w zależności od prędkości obrotowej wirnika ω/ω_0 dla sposobu utwierdzenia panwi wg szkicu "wersja b" (panew swobodna) dla różnych modeli teoretycznych. Miejsca zerowe krzywych tłumienia to oczywiście granica stabilności układu ω_{gr}/ω_0 . Wykres górny przedstawia przebieg tych samych zależności dla innego utwierdzenia panwi w stojakach łożyskowych wg szkicu "wersja d" (panew na dwóch podporach z dociskiem). Łatwo zauważyć możemy jakościową różnicę w przebiegu krzywych tłumienia. Przy utwierdzeniu panwi wg szkicu "wersja d" granica stabilności w ogóle nie istnieje – układ jest absolutnie stabilny.

Powyższy przykład świadczy o tym, że tak często pomijany w rozważaniach sposób utwierdzenia panwi może w pewnych warunkach mieć decydujące znaczenie. Przykład ten wskazuje na możliwości optymalizacji niektórych rozwiązań konstrukcyjnych w niezwykle prosty sposób.



Rys. 16. Przykład wpływu utwierdzenia panwi na charakterystyki dynamiczne układu wirnik – łożyska [4]

6. Możliwości realizacji koncepcji

Zastanówmy się teraz jakie istnieją możliwości realizacji przedstawionej koncepcji. W świetle przeprowadzonego przez IMP PAN rozeznania wynika, że dysponujemy w kraju kompetentną kadrą i zapleczem technicznym warunkującym powodzenie zamierzenia. W grę wchodzić by mogły ośrodki naukowe posiadające bogate doświadczenie w dziedzinie diagnostyki turbospełów oraz modelowania oddziaływań dynamicznych głównych jego podukładów. W pierwszej kolejności można tu wymienić:

– IMP PAN – prowadzić może prace z zakresu komputerowej i analogowej symulacji defektów turbozespołów energetycznych. Ośrodek ten opracował szereg oryginalnych programów komputerowych oraz rozbudowuje duże laboratorium układów modelowych wirnik-podpory. Na tej bazie zbudowane mogą być użyteczne narzędzia do symulacyjnego pozyskiwania relacji diagnostycznych.

– Politechnika Częstochowska – rozwijać może prace z zakresu doskonalenia efektywnych metod i algorytmów prognozowania trendów zużycia turbozespołów oraz metod analizy sygnałów szybkochybiennych. Ośrodek ten jest również w stanie podjąć się opracowania nowej, bazowej wersji sprzętu komputerowego złożonego z modułów 16-to bitowych a także opracowaniem banku danych dla potrzeb tzw. "diagnostyki objawowej".

– Politechnika Śląska – posiada bogate doświadczenia związane zarówno z systemami dozoru drganiowego jak również z diagnostyką wyteżeń cieplnych tzw. "life-time". Ośrodek ten jest w stanie opracować ogólną strukturę systemu ekspertowego i zbudować jego główne warstwy a także opracować zasady reprezentacji wiedzy.

– Politechnika Poznańska – prowadzić może prace związane z opracowaniem podsystemu nadzoru drganiowego wybranych maszyn pomocniczych bloku takich jak: pompy, wentylatory, dmuchawy. Ośrodek posiada bogatą bazę danych diagnostycznych tego rodzaju maszyn.

– Instytut Energetyki w Warszawie – prowadzić może prace związane z opracowaniem doświadczeń eksploatacyjnych oraz pozyskiwaniem relacji diagnostycznych na obiektach rzeczywistych. Służyć to będzie opracowaniu ogólnego modelu diagnostycznego turbozespołu.

– Zakłady Pomiarowo Badawcze Energetyki "Energopomiar" w Gliwicach – posiadają bogate materiały zawierające analizę parametrów istniejącego w energetyce sprzętu przetwornikowego i aparaturowego. Ośrodek ten opracować zatem może założenia techniczno-eksploatacyjne systemu dozoru analogowego, kompatybilnego z opracowywanym systemem diagnostyki komputerowej.

Biorąc pod uwagę możliwości kadrowe i techniczne powyższych ośrodków możliwe jest w ciągu kilku pierwszych lat (np. 3 lata) zbudowanie tzw. warstwy podstawowej systemu komputerowego dozoru eksploatacyjnego czyli warstwy zawierające moduły związane z obsługą przetworników i urządzeń rejestrujących, z bazami danych, z symulacją i modelowaniem podzespołów badanego obiektu a także modułów zarządzających całym systemem.

W następnej kolejności mogła by być przeprowadzona pełna integracja wszystkich programów warstwy podstawowej, eksploatacja oprogramowania i rozpoczęcie tym samym procesu kształcenia systemu oraz wdrożenie i próbną eksploatacja na jednym z bloków energetycznych.

7. Wnioski i uwagi końcowe

Kończąc nasze rozważania podkreśliśmy raz jeszcze, że nowoczesne systemy diagnostyki maszyn, wykorzystujące w szerokim zakresie możliwości analizy kompu-

terowej, jak wynika ze światowych doświadczeń, umożliwiają osiągnięcie najniższych z możliwych kosztów eksploatacji. Te same źródła wykazują, że w przypadku maszyn krytycznych o dużym stopniu złożoności jakimi są turbozespoły, oszczędności na kosztach eksploatacji wynikające z instalowania tych systemów są szczególnie duże. Systemy te stwarzają bowiem możliwości szeroko pojętej optymalizacji ruchu, działań profilaktycznych zapobiegających awariom oraz racjonalizacji remontów i poprawy bezpieczeństwa pracy.

Problemu wdrożenia w nowych elektrowniach nowoczesnych systemów eksploatacji maszyn nie rozwiąże np: kupno gotowego systemu ekspertowego od wyspecjalizowanych firm zachodnich, gdyż kupić możemy pewnego rodzaju systemy "szkieletowe".

Praca przedstawia szkic bardzo rozległych i kompleksowych działań, których efektem byłby własny komputerowy "inteligentny" system diagnostyki turbozespołów energetycznych wraz z zapleczem naukowo-technicznym i centrum informatycznym pracującym na potrzeby całej energetyki.

"Inteligentny" system diagnostyczny z podziałem bazy wiedzy i archiwacją przypadków niepewnych wraz z systemem pozyskiwania wiedzy poprzez organizację nadrzędnego centrum i badania symulacyjne, stanowią najbardziej charakterystyczne i tym samym oryginalne elementy przedstawionej koncepcji.

Realizacja zaproponowanego zamierzenia stwarza szanse dla wdrożenia pierwszego polskiego "inteligentnego" systemu diagnostyki komputerowej w naszej energetyce.

Pokonanie pewnego progu związanego z nabyciem umiejętności i doświadczeń w zakresie modelowania złożonych obiektów rzeczywistych, analizy komputerowej i metod sztucznej inteligencji, stwarza warunki do budowy rozwiniętych systemów ekspertowych nie tylko w energetyce ale i w innych działach gospodarki narodowej. Krąg odbiorców powyższej pracy byłby wtedy znacznie szerszy.

I ostatnia uwaga: żaden ośrodek zagraniczny nie sprzeda nam tego, co w niniejszej pracy określiliśmy mianem centrum. Centrum to – to nie tylko sposób na generowanie całej rodziny systemów ekspertowych, ale przede wszystkim zaplecze naukowe, w którym gromadzi się i rozwija potrzebną wiedzę.

Praca wpłynęła do redakcji we wrześniu 1990 r.

Literatura

- [1] W. Cholewa, E. Czogała, *Podstawy systemów ekspertowych*. Prace Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, Nr 28, Warszawa, 1989.
- [2] Z. Orłowski, *Wibrodiagnostyka turbin parowych*. Prace Instytutu Energetyki, Zeszyt. 18, Warszawa, 1989.
- [3] W. Moczulski, *Typowe relacje diagnostyczne*. III Konferencja Naukowo-Techniczna "Metrologia w Energetyce", Świnoujście, 11-15 kwietnia 1988, str. 38-50.

- [4] J. Kiciński, *Własności nieizotermicznych filmów olejowych w przepływach przez cienkie i deformowalne szczeliny smarne tożysk ślizgowych*. Zeszyty Naukowe IMP PAN, 250/1181/87, Gdańsk, 1987.
- [5] *Materiały VI, VII, VIII, IX Szkoły Diagnostyki* pod redakcją prof. Cz. Cempla, Politechnika Poznańska, Instytut Mechaniki Stosowanej, Rydzyna 83, 85, 87, 89.
- [6] R. Nowicki, F. Sordyl, *Identyfikacja niestatecznych drgań wału (wir olejowy)*. III Konferencja Naukowo-Techniczna, Świnoujście, 11-15 kwietnia 1988, str. 70-77.

Conception of "Intelligent" Computer Systems for Diagnosis of Turbosets in Power Plants

Summary

Conception of computer systems of turbosets diagnosis based on "artificial intelligence" methods with the knowledge gaining system is presented. It contains also sketch of extensive research works aimed at the diagnosis of that kind.

A short review of supervisory and diagnostic systems of turbosets in power engineering and possibilities of their development towards "intelligent" systems is also inserted.

The paper contains also more accurate estimation of possibilities of turboset failure simulation as well as computer model of its dynamic states. The analysis of unstability of simulation investigations aimed at gaining of expected diagnostic relationships has been done.

An idea of computer center working for whole power engineering needs in the field of creation and development of expert systems is presented.

Концепция "интеллектуальных" компьютерных систем диагностики энергетических турбоагрегатов

Резюме

В статье представлена концепция компьютерных систем диагностики турбоагрегатов использующих методы искусственной интеллигенции вместе с системой приобретения знаний. Представлен также эскиз более широких испытательских намерений направленных на этого вида диагностику. Указан краткий обзор систем надзора и диагностики турбоагрегатов в польской энергетике и возможности их развития в направлении "интеллектуальных" систем.

Статья содержит также глубокую оценку возможностей испытаний моделирующих повреждений турбоагрегата и компьютерного описания его динамических состояний. Выполнен также анализ пригодности моделирующих испытаний под углом приобретения желанных диагностических отношений.

Статья содержит также концепцию информатического центра работающего для потребностей бсей энергетике в объеме создаия и развития экспертных систем.