ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: GÓRNICTWO z. 93 Nr kol. 590

STEFAN ZIEMBA
SEKCJA PODSTAW EKSPLOATACJI MASZYN KBM PAN
WARSZAWA

JACEK M.CZAPLICKI
INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICTWA
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
GLIWICE

WYBRANE ELEMENTY DIAGNOSTYKI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH: DIAGNOSTYKA A TEORIA PREDYKCJI, METODY ROZWIĄZYWANIA ZADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH

W pracy zaprezentowano wybrane elementy diagnostyki technicznej poprzez rozważenie takich zagadnień, jak: diagnostyka a teoria predykcji oraz metody rozwiązywania zadań diagnostycznych.

1. Diagnostyka a teoria predykcji

Zrodzona na gruncie teorii procesów stochastycznych i problematyki regresji teoria predykcji znalazła od kilkunastu lat nowe zastosowanie w diagnostyce technicznej.

Teoria wnioskowania w przyszłość miała trzy etapy swego intensywnego rozwoju. Pierwszy, początkowy, rozpoczął się na gruncie zagadnień ekstrapolacji procesów losowych. Drugi, gwałtowny rozwój, nastąpił z chwilą adaptacji tych zagadnień do problemów ekonometrycznych. Trzeci, zapoczątkowany w latach sześćdziesiątych, zaznaczył się wyraźnie w zagadnieniach teorii niezawodności.

Diagnostyka techniczna, której przedmiotem zainteresowania jest w pierwszym rzędzie ocena stanu obiektu w chwili badania, zrodziła naturalną potrzebę odpowiedzi na pytanie: na ile uzyskana ocena będzie przydatna w najbliższej przyszłości? Zasadniczym celem wyznaczonej oceny stanu obiektu jest przecież podjęcie decyzji odnośnie dalszego postępowania z obiektem - a zatem działanie na przyszłość. Stąd też, problematyka prognozowania stanowi istotny, integralny element diagnostyki technicznej.

Wnioskowanie w przyszłość w zagadnieniach diagnostyki można podzielić,

ze względu na meritum rozważań, na dwa działy:
- przewidywanie przyszłych realizacji zmiennych losowych i procesów losowych,
- przewidywanie przyszłych realizacji parametrów i charakterystyk zmiennych losowych i procesów losowych.

Pierwsza grupa zagadnień występuje w klasycznych problemach diagnostycznych, gdzie przedmiotem rozważań jest realizacją konkretnej cechy - parametru diagnostycznego. Z formalnego punktu widzenia parametr ten jest zmienną losową. Stąd problem jego predykcji rozważa się na gruncie ekstrapolacji procesów stochastycznych. W zależności od sposobu dokonywanego badania diagnostycznego, otrzymywana realizacja parametru będzie miała charakter ciągły bądź dyskretny. Obserwacja parametru w badaniu jak również parametr diagnostyczny mogą mieć bowiem, każde z osobna, charakter ciągły bądź dyskretny. Dlatego, w zależności od charakterów obserwacji i parametru, mówimy o :
- łańcuchach losowych /w przypadku gdy parametr i obserwacja mają charakter dyskretny/,
- strumieniach losowych /w przypadku gdy parametr ma charakter dyskretny a obserwacja - ciągły/,
- szeregach czasowych /w przypadku gdy parametr ma charkter ciągły a obserwacja - dyskretny/,
- procesach losowych ciągłych /w przypadku gdy parametr i obserwacja mają charakter ciągły/.

Podział ten, można umownie powiedzieć, iż zaznacza na zbiorze metod i sposobów wnioskowania w przyszłość wyraźny podział na metody ekstrapolacji:
- szeregów czasowych, przy czym łańcuchy losowe i szeregi czasowe mają te same metody predykcji,
- strumieni losowych,
- ciągłych procesów losowych.

W przypadku realizacji ciągłej parametru i obserwacji wnioskowanie w przyszłość dokonywane jest na ogół specjalnymi urządzeniami realizującymi predykcję.

W przypadku strumieni losowych podstawą predykcji jest zwykle identyfikacja:
- podstawowych własności strumienia,
- rozkładów i wartości parametrów strumienia i liczby impulsów dla danej wartości parametru strumienia,
- relacji pomiędzy wyżej wymienionymi zmiennymi losowymi.

Na tej podstawie dokonywane jest wnioskowanie w przyszłość o realizacji strumienia.

W przypadku dyskretnych odczytów wartości parametru diagnostycznego prognozowanie dokonywane jest zwykle poprzez wybór jednej z możliwych metod bądź sposobów wnioskowania w przyszłość, a następnie poprzez określoną procedurę analityczno - logiczną, przynależną wybranej metodzie. Istotą rozważań w ekstrapolacji szeregów czasowych jest albo identyfikacja modelu

kształtowania się zmiennej prognozowanej albo identyfikacja i dekompozycja składowych częstości realizacji zmiennej prognozowanej. W pierwszym z wymienionych przypadków mówimy o predykcji w oparciu o parametryczne metody analizy szeregów czasowych, w drugim - o predykcji w oparciu o nieparametryczne metody analizy szeregów czasowych.

Sama identyfikacja modelu kształtowania się zmiennej prognozowanej może odbywać się poprzez:

- dekompozycję procesu stochastycznego na trzy składowe: systematyczną, cykliczną i tzw. "czysto" losową z wykorzystaniem na ogół klasycznych metod estymacji parametrów strukturalnych modelu dekompozycji; otrzymamy w ten sposób model kształtowania się zmiennej prognozowanej przynależy do klasy modeli tendencji rozwojowych,
- wybór odpowiedniej funkcji "wyjaśniającej" przebieg parametru diagnostycznego, a następnie estymację parametrów strukturalnych odpowiednimi metodami szacowania; otrzymamy w ten sposób model kształtowania się zmiennej prognozowanej przynależy do klasy modeli przyczynowo - skutkowych bądź symptomatycznych /w przypadku gdy zmienne objaśniające nie są bezpośrednimi przyczynami kształtowania się zmiennej prognozowanej, a jedynie z jakimiś przyczynami silnie skorelowane/,
- wybór odpowiedniej funkcji "przybliżającej tylko" przebieg parametru diagnostycznego, a następnie estymację parametrów strukturalnych metodami iteracyjnymi /gdy model przynależy do klasy modeli adaptacyjnych/ lub klasycznymi metodami /gdy model przynależy do klasy modeli autoregresyjnych/.

W nieparametrycznych metodach predycji, stosowanych na ogół do prognozowania szeregów czasowych ze składową cykliczną, pomija się problem pierwotnego wyboru modelu kształtowania się zmiennej prognozowanej, natomiast istota rozważań polega na rozdzielaniu wariancji szeregu pomiędzy poszczególne harmoniki, z których każda określa pewien typ wahań periodycznych.

Na marginesie powyższych rozważań,dotyczących problemów predykcji szeregów czasowych, warto wspomnieć o pewnej grupie metod, leżącej na pograniczu obu: parametrycznych i nieparametrycznych typów metod analizy szeregów czasowych, a mianowicie o metodach, w których idea opisu kształtowania się zmiennej prognozowanej oparta jest na analizie harmonicznej

Problematyka przewidywania przyszłych realizacji zmiennych losowych i procesów losowych krzyżuje się z problematyką oceny a priori niezawodności działania diagnozowanych obiektów technicznych. Rysuje się to wyraźnie wówczas, gdy parametr diagnostyczny jest głównym parametrem technicznym obiektu w tym sensie, że wyjście poza granice dopuszczalne wartości tego parametru oznacza przejście ze stanu zdatności do niezdatności. Związek pomiędzy oceną a priori niezawodności działania, a prognozą parametru diagnostycznego jest tym luźniejszy, im mniejszy jest wpływ pomiędzy wartościami, jakie przybiera parametr a możliwością przejścia ze stanów zdatności do niezdatności.

Druga grupa zagadnień - przewidywanie przyszłych realizacji parametrów

i charakterystyk zmiennych losowych i procesów losowych - ma przede wszystkim zastosowanie w diagnostyce niezawodnościowej. Ocena niezawodnościowa stanu obiektu w czasie badania, wyrażona konkretnymi wskaźnikami i charakterystykami, to nic innego jak diagnoza niezawodnościowa tego obiektu.

Problematyka predykcji tych wskaźników i charakterystyk jest w znakomitej większości rozważana w oparciu o tzw. modele problematyczne kształtowania się zmiennej prognozowanej. Parametry zmiennych losowych mogą być traktowane jako wielkości zdeterminowane /klasyczne ujęcie teorii statystyki matematycznej/, zmienne losowe /ujęcie bayesowskie/ bądź jako procesy losowe. W pierwszym z wymienionych przypadków punkt ciężkości procedur predykcyjnych przeniesiony jest z prognoz punktowych na przedziałowe. Wykorzystuje się tutaj prawidłowości tkwiące w realizacji zmiennej losowej, której parametr jest przedmiotem predykcji lub prawidłowości, ujawniające się w związkach parametru ze związanymi z nim rozkładami prawdopodobieństwa. W drugim przypadku wykorzystuje się twierdzenie Bayesa dla wyznaczenia rozkładu a posteriori prognozowanego parametru. Rozkład ten jest modelem kształtowania się zmiennej prognozowanej. Sam predykcyjny rozkład zmiennej losowej uzyskuje się poprzez równanie Kołmogorowa. W przypadku, gdy parametr jest traktowany jako proces losowy, jego prognozowanie zależy od tego, jaki obraz analityczny opisuje ten proces. Tok procedur predykcyjnych jest zgodny z przedstawionym schematem wnioskowania w przyszłość szeregów czasowych.

W celu uogólnienia powyższych rozważań zauważmy, że zarówno z punktu widzenia niezawodności jak i diagnostyki przedmiotem zainteresowania badacza jest dość często nie jeden parametr, lecz pewien zbiór parametrów /wektor/. Problematyka predykcji przechodzi więc z predykcji skalarnej w predykcję wektora. Jej główne odmiany: predykcja kompleksowa, łańcuchowa, mnożnikowa, sekwencyjna itp, nie będą omawiane ze względu na ograniczone ramy niniejszego opracowania. Warto również zwrócić uwagę, że przedmiotem zainteresowania diagnostyki jest nie tylko uzyskiwanie prognoz ilościowych, lecz także jakościowych.

Osobnym rozdziałem, samym dla siebie, jest zagadnienie zasad predykcji, tzn. sposobów podejścia do konstrukcji prognozy w oparciu o różne kryteria /predykcja nieobciążona, według największego prawdopodobieństwa z założoną dokładnością wnioskowania itp/. Należy także pamiętać, iż w wielu przypadkach wyznaczona prognoza wiąże się z podjęciem pewnych decyzji i w konsekwencji określonych działań i wtedy wnioskowanie w przyszłość należy rozważać w oparciu o statystyczne funkcje decyzyjne. Ma to miejsce najczęściej w sterowaniu eksploatacją konkretnego obiektu technicznego. Kryteria predykcji bywają wtedy na ogół ekonomiczne bądź bezpieczeństwa.

2. Metody rozwiązywania zadań diagnostycznych

Kontrola stanu obiektu technicznego jest jednym z ważniejszych zadań, występujących w procesach diagnostycznych. Dotyczy to zwłaszcza obiektów, w stosunku do których stawia się wysokie wymagania pod względem niezawod-

ności ich działania. W takim przypadku, przystępując do wykonywania zadania, należy mieć pewność, że obiekt jest zdatny, w związku z czym prawdopodobieństwo pomyślnej realizacji zadania będzie wystarczająco duże. W tym celu niezbędne jest uprzednie skontrolowanie stanu technicznego obiektu. Na podstawie wyniku kontroli stanu obiekt ten może być zaklasyfikowany jako zdatny lub niezdatny do użytku.

Problematyka racjonalnej kontroli stanu obiektu technicznego jest formalizowana w postaci tzw. zadań diagnostycznych. W wyniku rozwiązanego zadania uzyskuje się optymalny program badań, tzn. ciąg określonych czynności odpowiednio uporządkowanych, pozwalający zidentyfikować stan techniczny badanego obiektu. Kolejność ustawienia czynności na ogół ma istotny wpływ na koszt badania.

W przypadku badania obiektu o stosunkowo niewielkiej złożoności wystarczy doświadczenie odpowiednio wykwalifikowanego personelu. W przypadku złożonych obiektów zachodzi potrzeba uogólnień i formalizacji zagadnień potrzebnych do opracowania optymalnego programu badań.

Zadanie diagnostyczne zwykle formułuje się następująco:

Dane:

- zbiór elementów obiektu, z dokładnością do których chcemy wnioskować o stanie obiektu $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{A} = \{a_i\}$; $i = \overline{1,b}$,
- zbiór relacji $\mathfrak{C}$ zachodzących pomiędzy elementami a_i;
- zbiór prawdopodobieństw uszkodzeń elementów obiektu Q ; $Q = \{g_i\}$,
- zbiór dostępny sprawdzeń obiektu D, $D = \{d_j\}$; $j = \overline{1,h}$,
- zbiór kosztów realizacji sprawdzeń K, $K = \{k_j\}$,
- zbiór torów[1] sprawdzeń A ; $A = \{A_j\}$.

Należy wyznaczyć optymalny program badań diagnostycznych. Jako kryterium optymalizacji przyjmuje się minimum kosztów badania. A zatem niezbędny i wystarczający zbiór sprawdzeń można wyznaczyć ze wzoru:

$$D_{opt} = D^* : K(D^*) = \min_{D_l \in \Omega} K(D_l)$$

gdzie: Ω - zbiór wszystkich podzbiorów sprawdzeń D_l wystarczających dla potrzeb kontroli stanu, jakie można wyznaczyć ze zbioru D,

$K(D_l)$ - sumaryczny koszt realizacji sprawdzeń należących do podzbioru D_l ; $K(D_l) = \sum k_j$.

Liczność zbioru Ω wynosi h! Stąd nawet przy stosunkowo niewielkim h wyszukanie programu D_{opt} jest bardzo pracochłonne. Dlatego zachodzi potrzeba stosowania odpowiednich metod obliczeniowych umożliwiających rozwiązanie tego problemu.

---

[1] Torem sprawdzenia tj nazywa się podzbiór wszystkich takich elementów obiektu $A_j \subset \mathfrak{A}$, które można skontrolować sprawdzeniem d_j.

W praktyce rozróżnia się dwie podstawowe klasy zadań diagnostycznych, których treścią jest:

1/ wyznaczenie optymalnych programów kontroli stanu obiektu,

2/ wyznaczenie optymalnych programów lokalizacji uszkodzeń w obiekcie.

Metodą, która pozwala w pewnych przypadkach rozwiązać obie klasy zadań jest metoda największego spadku [5, 6]. Można udowodnić, że wtedy, gdy tory poszczególnych sprawdzeń są rozłączne, to przeciętny koszt realizacji wyznaczonego tą metodą programu jest rzeczywiście najmniejszy.

Odmianą metody największego spadku jest tzw. metoda informacyjna, w której prawdopodobieństwa uszkodzeń elementów wykorzystuje się poprzez entropię miejsca uszkodzenia. Metoda ta wykorzystywana jest w wyznaczeniu optymalnych programów lokalizacji uszkodzeń.

Należy również wspominieć metodę połówkowego podziału, będącą szczególnym przypadkiem metody informacyjnej;zakres stosowalności tej metody jest jednak poważnie ograniczony.

Dwie dalsze metody, które zostaną zasygnalizowane, zasługują na większą uwagę.

Pierwsza z nich oparta jest na zasadzie optymalności Bellmana. Daje ona zawsze optymalne rozwiązanie, jeżeli tylko rozwiązanie to istnieje. Może być stosowana zarówno do wyznaczania optymalnego programu kontroli jak i wyznaczania optymalnego programu lokalizacji uszkodzeń. Polega ona na odpowiednim podziale procesu obliczeniowego na etapy, w których rozwiązuje się zadania częściowe, uwzględniające jednak całokształt zagadnienia. Metoda ta opisana jest w pracy [6] oraz artykule [3]. Druga z metod oparta jest na kryterium efektywności, określonej jako stosunek prawdopodobieństwa warunkowego wykrycia uszkodzenia obiektu w wyniku wykonania sprawdzenia d_j /pod warunkiem, że wyniki sprawdzeń należących do podzbioru $\bar{D}$ będą pozytywne/ do kosztu realizacji sprawdzenia d_j [4].

Powyższe metody, tj. metoda największego spadku, metoda informacyjna, połówkowego podziału, oparta na zasadzie optymalności Bellmana i metoda oparta na kryterium efektywności, zostały skomputeryzowane, tzn. opracowano programy na emc; programy, które umożliwiają szybkie i efektywne rozwiązanie zadań diagnostycznych dla systemów o średniej złożoności. Czynnikami ograniczającymi rozszerzenie na systemy bardziej złożone są tutaj możliwości obecnie stosowanych maszyn matematycznych, a szczególnie pojemność pamięci.

Warto również zauważyć, że metody wyznaczania optymalnych zbiorów sprawdzeń dla potrzeb kontroli stanu można wykorzystywać zarówno przy opracowywaniu instrukcji eksploatacji dla nowo konstruowanych obiektów technicznych jak i dla obiektów już eksploatowanych.

Wydaje się, iż powyższa problematyka mogłaby znaleźć zastosowanie w rozwiązywaniu zadań diagnostycznych tych maszyn górniczych, od niezawodności których zależy życie ludzkie, np. górniczych maszyn wyciągowych, czy wentylatorów głównych kopalni.

LITERATURA:

[1] Diagnostyka niezawodnościowa systemów technicznych. Mat. Szkoły Zimowej 78, OPT Katowice, 1978.

[2] Diagnostyka urządzeń mechanicznych. Mat. I Szkoły Diagnostyki Technicznej, Biały Bór 9-16.10.1977.

[3] Szymczyk J.: Metodyka rozwiązywania zadań diagnostycznych dla dużych obiektów. ZEM z.2,14,1973.

[4] Szymczyk J.: Metoda wyznaczania optymanego zbioru sprawdzeń dla potrzeb kontroli stanu obiektu technicznego. ZEM.z,22.1975.

[5] Szymczyk J.: Rozszerzony model matematyczny wyznaczania programów kontroli stanu obiektów technicznych metodą największego spadku. Biuletyn WAT, październik 1968.

[6] Winter B.B.: Optimal dignostic procedures. JRE Trans. Dec. 1960, RRQC - 9.

ИЗБРАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ДИАГНОСТИКА И ТЕОРИЯ ПРЕДИКЦИИ МЕТОДА РЕШЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Р е з ю м е

В статье представлены избранные элементы технической диагностики, рассматривая такие проблемы как: диагностика и теория предикции, а также метод решения диагностических задач.

SOME SELECTED ISSUES OF DIAGNOSTICS OF TECHNICAL OBJECTS: DIAGNOSTICS AND PREDICTION THEORY, SOLUTION METHODS OF DIAGNOSTICS PROBLEMS

S u m m a r y

The paper presents some selected elements of technical diagnostics taking under consideration such issues like diagnostics and prediction theory interrelation both with methods of solving the problems of diagnostics.