

WYKORZYSTANIE APROKSYMACJI I INTERPOLACJI MODELU STANU MASZYN W PROCESIE GENEZOWANIA

Joanna WILCZARSKA

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S.Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz, e-mail: asiulazol@atr.bydgoszcz.pl

Henryk TYLICKI

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S.Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz, e-mail: tylicki@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono podstawowe problemy procesu genezowania stanu maszyn. Opisano najprostszy podział metod genezowania i przesłanki wykorzystania tego procesu w eksploatacji maszyn. Zaproponowano wykorzystanie metod aproksymacji i interpolacji w procesie genezowania stanu maszyn.

Słowa kluczowe: genezowanie stanu maszyn, aproksymacja, interpolacja

USING APPROXIMATION AND INTERPOLATION OF MODEL OF MACHINES CONDITION IN GENESIS

Summary

In work basic problems of genesis machines condition were introduced. Straightest division of methods was described genesis and premises of utilization of this process in exploitation of machines. Utilization of methods of approximation and interpolation was proposed in process genezowania of state machines.

Keywords: genesis machines condition, approximation, interpolation

1. WPROWADZENIE

Doskonalenie eksploatacji maszyn, oprócz diagnozowania, które zapewnia informację o aktualnym stanie technicznym maszyny oraz prognozowania, które przy założeniu monotoniczności zmian wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji umożliwia wyznaczenie terminu i zakresu obsługiwanego maszyny, wymaga także wyznaczenia genezy stanu maszyny.

Genezowanie stanu technicznego zespołów i układów maszyny powinno polegać na określeniu (przy niepełnych lub niepewnych danych wartości parametrów diagnostycznych) trendu zmian wartości parametrów diagnostycznych, charakteryzującego proces pogarszania się stanu maszyny w przeszłości, przyrównaniu chwilowych wartości parametrów diagnostycznych do ich wartości granicznych. Powinno to stanowić podstawę do szacowania zapasu czasu niezawodnej pracy zespołów i układów maszyny w interesującym użytkownika przedziale czasu przeszłego eksploatacji maszyny lub podstawę do analizy przyczyny, zlokalizowanego w chwili

badania, uszkodzenia maszyny. Pomimo formułowanych, w różnych opracowaniach [1,2,3] potrzeby uzyskiwania powyższych informacji, występuje brak metod genezowania w postaci algorytmów obliczeniowych do szacowania stanu maszyny w czasie przeszłym jej eksploatacji.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESU GENEZOWANIA

Na podstawie analizy literaturowej [1,3,6] oraz badań własnych [4,5] można dokonać następującego podziału metod genezowania:

Genezowanie sytuacyjne

W przypadku genezowania sytuacyjnego przyczynę wystąpienia niezdatności określa się na podstawie oględzin przeprowadzonych bezpośrednio po zaistnieniu zdarzenia. Zebrane w ten sposób informacje (dane sytuacyjne) służą do porównania z danymi sytuacyjnymi powstałymi w wyniku zamodelowania pewnych uszkodzeń, co pozwala na poszukiwanie danych odpowiadających danym sytuacyjnym zdarzenia wejściowego. Podczas modelowania danego zdarzenia znana jest

przyczyna, która w konsekwencji powinna doprowadzić do niezdatności maszyny i w momencie uszkodzenia gromadzone powstałe w ten sposób dane sytuacyjne tworzą bazę odpowiadającą pewnym, niekiedy typowym uszkodzeniom. Wykorzystuje się je przy ustalaniu przyczyn zaistniałej niezdatności maszyny porównując zebrane informacje z danymi sytuacyjnymi odpowiadającymi konkretnym zdarzeniom oraz nierzadko wykorzystuje się także własną wiedzę. W ten sposób możliwe jest określenie najbardziej prawdopodobnej przyczyny wystąpienia uszkodzenia.

Genezowanie na podstawie rejestrowanych symptomów

Założono, że dany jest obiekt techniczny (maszyna), w którym co pewien czas rejestrujestrwany jest jego stan, zbierając informacje na temat poszczególnych elementów. W momencie utraty przez maszynę zdatości można na podstawie zebranych danych jak i oględzin obiektu technicznego stwierdzić, jaka mogła być przyczyna powstania uszkodzenia danego elementu, bądź też jego stan, zbierając informacje na temat poszczególnych elementów. Wartości symptomów są rejestrowane a następnie zapisywane i odczytywane. Przyrównuje się je do wartości granicznych.

Genezowanie na podstawie informacji zebranych z otoczenia

Najprościej mówiąc jest to określenie przyczyn zaistniałego stanu danego obiektu technicznego na podstawie relacji świadków danego zdarzenia. Na przykład wypadek samochodowy jest najlepszym tego przykładem, gdzie na podstawie między innymi relacji świadków możemy określić przyczynę powstania wypadku.

Przykładem mogą być tu również informacje przekazane przez osobę obsługującą daną maszynę bądź też urządzenie. Może to dostarczyć nam bardzo cennych danych o zachowaniu się obiektu technicznego przed uszkodzeniem.

W przemyśle bardzo często wykorzystuje się kamery przemysłowe mogące pomóc w ocenie przyczyn powstałej niezdatności. Nasuwają się tutaj w zasadzie najprostsze przypadki ludzkich błędów (niekiedy także i ludzkiej głupoty).

Podsumowując powyższe sposoby, bądź też metody genezowania stanu technicznego obiektów technicznych, łatwo zauważyć, iż każdy z powyższych toków postępowania można by ze sobą połączyć.

W ten sposób możliwe jest przeprowadzenie bardzo wnikliwej analizy przyczyn zaistniałego stanu obiektu technicznego, technicznego także ustalenie z dość dużym prawdopodobieństwem stanu obiektu w chwili $t - \Delta t$ i tym samym

zlokalizowanie uszkodzenia w przypadku jego zawadności.

Algorytm rozwiązania problemu genezowania stanu maszyny można przedstawić w następujący sposób:

aktualny stan techniczny maszyny – parametry diagnostyczne opisujące ten stan - metoda genezowania wykorzystująca niepełną lub niepewną historię wartości parametrów diagnostycznych w czasie przeszłym – geneza stanu technicznego maszyny – wykorzystanie genezy stanu technicznego maszyny w systemie obsługiwania.

Problemy występujące w procesie genezowania stanu technicznego maszyny można sprowadzić do:

1. Analizy będącego przedmiotem genezowania maszyny, tzn. procesu pogarszania się jej stanu technicznego, określenie tendencji i dynamiki zmian wartości jej parametrów stanu, wybór stanów, w których mogła znajdować się maszyna, dekompozycja maszyny na układy i zespoły, kryteria wyboru stanów i prawdopodobieństwo ich występowania, wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny.
2. Wyboru „najlepszej” metody wyznaczania genezy.
3. Wykorzystanie informacji genezotycznej do analizy przyczyny zaistnienia stanu maszyny w chwili badania maszyny.

3. APROKSYMACJA I INTERPOLACJA W GENEZOWANIU STANU

Stosowanie diagnostyki technicznej w zakresie określania granic stanu zdatości jest oparte na dwóch głównych zagadnieniach:

- wyznaczenie symptomu współzmienniczego ze stanem technicznym maszyny;
- określenie wartości granicznych mierzonych symptomów.

Przekroczenie wartości granicznej oznacza wejście maszyny w stan przyśpieszonego zużycia, cechującego się dużym prawdopodobieństwem awarii.

W zagadnieniach diagnostyki bezpośredniej i w eksperymentach czynnych ustalenie wartości granicznej dla zorientowanych uszkodzeniowo symptomów stanu jest stosunkowo proste. Problem komplikuje się dla badań stanu w diagnostyce pośredniej, gdzie począwszy od wyboru punktu odbioru sygnału, zmiennej jakości wytwarzania i napraw tych samych maszyn, zmiennych warunków eksploatacji ujawniających te same uszkodzenia z różną intensywnością-ustalenie stanu granicznego na podstawie symptomu jest niepomernie trudniejsze.

Realizowane najczęściej w praktyce przemysłowej biernie i biernoczynne eksperymenty diagnostyczne dostarczają symptomów stanu, które porównywane są podczas wnioskowania z wartościami granicznymi dostępnymi w wielu normach krajowych, zagranicznych, branżowych lub z danymi z własnych doświadczeń. Gdy jednak dla badanej maszyny brak takich norm z pomocą może tu przyjść statystyczny opis losowego procesu eksploatacji za pomocą gęstości rozkładu lub częstości występowania obserwowanego symptomu.

Oszacowanie wartości granicznej symptomu dla bezpiecznego wyłączenia maszyny przed uszkodzeniem można zrealizować za pomocą metod statystycznych lub przy pomocy niezawodności symptomowej, wykorzystującej stosowaną politykę naprawczą określającą dopuszczalny spadek niezawodności funkcjonalnej.

Formułę na wyznaczenie S_{gr} minimalizującą prawdopodobieństwo awarii przy zadanym, dopuszczalnym prawdopodobieństwie zbędnej naprawy A (wg. Neymana-Pearsona) można zapisać w postaci:

$$\int_{S_{gr}}^{\infty} \left(\frac{S}{X_g} \right) dS = A \quad (1)$$

Według Birgera: $A = k(1 - P_g)$, gdzie: k - współczynnik zapasu ($k = 1 - 3$ dla uszkodzeń zwykłych, $k = 3 - 10$ dla uszkodzeń niebezpiecznych), P_g - gotowość maszyn wyznaczana z zależności $P_g = N_z / (N_z + N_n)$, gdzie: N_z - liczba maszyn zdalnych, N_n - liczba maszyn niezdatnych, P_g - prawdopodobieństwo zdatności.

Szereg prostych przekształceń prowadzi w efekcie do zależności:

$$S_{gr} = s + \sigma_s \sqrt{\frac{P_g}{2A}} \quad (2)$$

Otrzymane oszacowanie wartości granicznej symptomu oparte na wartości średniej, dyspersji i polityce naprawczej stwarza dobre podstawy do prostego wyznaczania wartości granicznych badanych miar stanu w praktyce przemysłowej.

W procesie genezowania również występuje problem wyznaczenia wartości granicznych jak również problem wyznaczenia kanału błędowego. Można go rozwiązać stosując metody aproksymacji i interpolacji.

Celem aproksymacji jest znalezienie zależności funkcyjnej $F(x)$, w przybliżeniu pokrywającej się z pewną funkcją $f(x)$, określoną w postaci ciągu punktów. Punkty te mogą pochodzić z pomiarów, albo mogą być wynikami innych obliczeń.

Funkcja aproksymująca buduje się najczęściej w postaci kombinacji liniowej ortogonalnych funkcji bazowych.

$$F(x) = a_0 U_0(x) + a_1 U_1(x) + \dots + a_m U_m(x) \quad (3)$$

gdzie:

$$U_0(x), U_1(x), \dots, U_m(x) \quad (4)$$

jest zbiorem ortogonalnych funkcji bazowych.

Miarą zgodności funkcji aproksymującej $F(x)$ i funkcji aproksymowanej $f(x)$ jest norma:

$$\|F(x) - f(x)\| \quad (5)$$

Celem obliczeń jest wyznaczenie wartości współczynników:

$$a_0, a_1, \dots, a_m$$

Wartości te są wykorzystane do obliczenia wartości funkcji aproksymującej (3).

W przypadku interpolacji zakłada się, że dane są wartości funkcji $f(x)$ na zbiorze punktów x_0, x_1, \dots, x_n zwanych węzłami interpolacji. Zadaniem interpolacji jest wyznaczenie przybliżonych wartości funkcji $f(x)$ zwanej funkcją interpolowaną w punktach nie będących węzłami interpolacji. Przybliżoną wartość funkcji $f(x)$ obliczyć można za pomocą funkcji $F(x)$ zwaną funkcją interpolującą, która w węzłach ma te same wartości co funkcja interpolowana.

Funkcja interpolująca jest funkcją pewnej klasy. Najczęściej będzie to wielomian algebraiczny, wielomian trygonometryczny, funkcja wymierna lub funkcja sklejana.

Interpolację stosuje się najczęściej gdy nie znamy analitycznej postaci funkcji $f(x)$ (jest ona tylko stabilizowana) lub gdy jej postać analityczna jest zbyt skomplikowana.

Wśród wielu metod interpolacyjnych, na szczególną uwagę zasługuje interpolacja funkcjami sklejanymi.

W dotychczasowych rozważaniach funkcja była interpolowana jednym wielomianem. Oczywiście, jeśli wzrasta liczba węzłów wzrasta również stopień wielomianu interpolacyjnego i może się okazać, że nie będzie on zbieżny do funkcji interpolowanej. Można inaczej sformułować problem.

Niech dane będą węzły uporządkowane następująco

$$a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n = b \quad (6)$$

W każdym z podprzedziałów $\langle x_i, x_{i+1} \rangle$ $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ funkcja interpolowana jest przybliżana wielomianem stosunkowo niskiego stopnia. Na ogół w każdym podprzedziale wielomian będzie różny ale cała funkcja interpolująca powinna być ciągłą wraz z odpowiednimi pochodnymi na odcinku $\langle a, b \rangle$.

Definicja 1. Funkcja $S_m(x)$ jest funkcją sklejaną stopnia m jeśli wraz z węzłami $a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n = b$ spełnia dwa warunki:

- 1) w każdym podprzedziale $\langle x_i, x_{i+1} \rangle$ $i = -1, 0, 1, \dots, n$ gdzie $x_{-1} = -\infty, x_{n+1} = +\infty$ $S_m(x)$ jest wielomianem stopnia co najwyżej m ,
- 2) jest klasy C^{m-1} na całej osi rzeczywistej.

W najprostszym przypadku $m=1$ funkcja sklejana jest po prostu linią łamaną.

Definicja 2. Funkcja $S_{2m-1}(x)$ jest naturalną funkcją sklejaną jeśli w przedziałach $(-\infty, x_0)$ i $(x_n, +\infty)$ jest wielomianem stopnia $m-1$ (a nie $2m-1$).

Definicja 3. Funkcja $S_m(x)$ jest interpolacyjną funkcją sklejaną jeśli w węzłach interpolacji jej wartości i wartości funkcji interpolowanej są sobie równe.

Algorytm wyznaczania naturalnej, interpolacyjnej funkcji sklejanego stopnia 3

Niech w każdym podprzedziale $\langle x_i, x_{i+1} \rangle$ funkcja sklejana ma postać:

$$S_3(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (7)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

Współczynniki a_i, b_i, c_i, d_i wyznacza się następująco:

A. Należy rozwiązać układ równań liniowych o postaci

$$\begin{bmatrix} 2 & w_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ u_2 & 2 & w_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & u_3 & 2 & w_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & u_{n-2} & 2 & w_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & u_{n-1} & 2 \end{bmatrix} *$$

$$* \begin{bmatrix} c_1^* \\ c_2^* \\ c_3^* \\ \vdots \\ c_{n-2}^* \\ c_{n-1}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_{n-2} \\ v_{n-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

gdzie:

$$\begin{cases} u_{i+1} = \frac{h_i}{h_i + h_{i+1}} & w_{i+1} = \frac{h_{i+1}}{h_i + h_{i+1}} \\ v_{i+1} = \left(\frac{f_{i+2} - f_{i+1}}{h_{i+1}} - \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} \right) : (h_i + h_{i+1}) \end{cases} \quad (9)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n-2$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

$$f_i = f(x_i) \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad z$$

kórego wyznacza się współczynniki c_i^* $i = 1, 2, \dots, n-1$.

B. Współczynniki c_i są określone następująco

$$c_0 = c_n = 0 \quad c_i = 3c_i^* \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (10)$$

a współczynniki a_i, b_i, d_i oblicza się wg

wzorów:

$$\begin{cases} a_i = f_i \\ b_i = \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} - \frac{h_i}{3}(c_{i+1} + 2c_i) \\ d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \end{cases} \quad (11)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

Mając wartości tych współczynników i podstawiając je do wzoru, jakim zapisana jest funkcja sklejana, można obliczyć wartość tej funkcji (7).

4. PODSUMOWANIE

Genezowanie jest to proces mający na celu ustalenie tego w jaki sposób zmieniały się stany podzespołów maszyny od pewnego określonego czasu do chwili obecnej. Genezowanie jest niezwykle ważne gdyż pozwala ono określić między innymi przyczynę wystąpienia awarii lub niedomagania maszyny. Dzięki temu można wcześniej zapobiegać ponownemu wystąpieniu tej samej usterki. Jak do tej pory procesem tym zajmowało się niewiele osób, jednak zagadnienie to nabiera coraz większego znaczenia w procesie eksploatacji maszyny.

W celu poprawnego funkcjonowania nowoczesnych systemów obsługiwanie maszyn (wykorzystujących informację o stanie maszyny w chwili badania, w czasie przyszłym i w czasie przeszłym) istnieje potrzeba opracowania metody, która w przypadku niepełnej lub niepewnej historii zmian stanu maszyny umożliwi szacowanie stanu maszyny w czasie przeszłym eksploatacji.

Stwierdza się, że proste algorytmy prognostyczne zaczynają stanowić element standardowego oprogramowania przyrządów diagnostycznych zaś proste procedury wyznaczania genezy stanu stanowią podstawę oprogramowania systemów doradczych, np. przy analizie wypadków drogowych (pakiet CRASCH i inne).

Istnieje więc potrzeba i możliwości (istniejące metody szacowania wartości parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny w czasie eksploatacji) opracowania metodyki szacowania stanu technicznego w czasie przeszłej eksploatacji maszyny, możliwej do wykorzystania w systemie obsługiwanie maszyn.

LITERATURA

- [1] Będkowski L.: Elementy diagnostyki technicznej, WAT, Warszawa 1991.
- [2] Prażewska M.J: Ocena nieuszkodzalności ESŁ na podstawie niepewnych danych. Przegląd Telekomunikacyjny nr 4/2002. Warszawa 2002.
- [3] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR. Bydgoszcz 1998.
- [4] Tylicki H., Żółtowska J.: Badanie jakości diagnozy maszyn. Diagnostyka, vol. 32, 2004.
- [5] Tylicki H., Różycki J., Żółtowska J.: Badanie jakości zbioru sygnałów diagnostycznych. Diagnostyka, vol. 32, 2004.
- [6] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.



Mgr inż. Joanna Wilczarska jest absolwentką Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno- Rolniczej w Bydgoszczy o specjalności „technologia maszyn”. Pracuje w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy. Zajmuje się problematyką diagnostyki, a w szczególności genezowaniem stanu maszyn.



Dr hab. inż. Henryk Tylicki, prof. nadzw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami diagnostyki technicznej, eksploatacji maszyn i optymalizacji systemów transportowych. Ma w swoim dorobku ponad 150 publikacji, w tym 9 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 60 publikacji naukowych, 86 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich, recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy. Interesuje się sportem (tenis ziemny, żeglarstwo, narty) i czyta literaturę piękną.