

#### 4.5.1. Wprowadzenie

W naszym zarysie wiedzy i umiejętności diagnostyki WA doszliśmy do miejsca, w którym wiadomo: co, gdzie i jak mierzyć, jak to przetwarzać w symptom WA, jak wyznaczać granice zdadności względem symptomu WA, a także jak minimalizować wpływ zakłóceń przypadkowych. Potrafimy zatem dokładnie określić stan techniczny obiektu - czyli dokonać diagnozy. Potrafimy również ocenić przyczyny zaistnienia określonego stanu poprzez genezę za pomoco analizy widmowej, cepstralnej, widma iloczynowego itd. Jedyne nierozwiązane zagadnienie, będące częścią diagnozy w pełnym ujęciu, to -prognoza przyszłego stanu.

Naświetleniu tej kwestii poświęcony będzie niniejszy punkt rozdziału.

Paradygmatem diagnostyki jak i diagnostyki WA jest przyczynowość a czasami nawet determinizm relacji stan  $\rightarrow$  symptom lub inaczej zaawansowanie zużycia  $\rightarrow$  symptom. Jeśli tak, to prognoza stanu winna być oczywiście wykonalna za pomocą dostępnych modeli trendu stan - symptom. Wyjaśniając ten problem w diagnostyce WA naświetlimy go od początku, tzn. od momentu odbioru sygnału WA -  $s(r,t,\theta)$  w konkretnym miejscu - r obiektu, gdzie zdecydowaliśmy się zamontować przetwornik drgań. W miejscu tym charakter sygnału i relacje stanu/symptomu determinują poniższe równania różniczkowe i relacje definicyjne.

Proces WA współzmienniczy z sygnałem  $s(r,t,\theta)$ :

$$m(X, \theta)\ddot{s}(r, t, \theta) + c(X, \theta)\dot{s}(r, t, \theta) + k(X, \theta)s(r, t, \theta) = f(X, \theta, Z, g, t) \quad (4.51)$$

stan -  $X(\theta)$ :

$$\frac{dx(\theta)}{d\theta} = \phi(s, \theta, g) \quad (4.52)$$

obserwowany symptom WA -  $S(r, \theta)$ :

$$S(r, \theta) = E_t \{ \psi [s(r, t, \theta)] \} = L(r, X) + N(r, \theta) \quad 4.(53)$$

gdzie:  $m\{\bullet\}$ ,  $c\{\bullet\}$ ,  $k\{\bullet\}$  - masa, tłumienie, sztywność obiektu w miejscu odbioru procesu WA przetworzonego na sygnał  $s\{\bullet\}$ ,  $f\{\bullet\}$  - wymuszenie obiektu zależne od jego stanu  $X(\theta)$ , zakłóceń -  $Z$  - i obciążenia procesem technologicznym -  $g$ ;  $E_t \{ \bullet \}$  znany operator uśrednienia po dziedzinie czasu dynamicznego;  $\psi\{\bullet\}$  - operator tworzący symptomu WA;  $L(r, X)$  część zdeterminowana symptomu (trend);  $N(r, \theta)$  zakłócenia przypadkowe obecne w obserwowanym symptomie WA.

Patrząc na sposób uzależnienia wzajemnego w relacjach (4.51) do (4.53), najprostszy formalny sposób rozwiązania winien polegać na operatorowym rozwiązaniu równania stanu (4.52) i wstawieniu do równania sygnału(4.51), Formalne rozwiązanie tego równania umożliwia wstawienie rozwiązania do

równania obserwacji (4.53). Widać stąd, że formalne rozwiązanie (4.52) powoduje, że  $L(\cdot)$  nie jest funkcją a raczej operatorem różniczkowo-całkowym między symptomem i stanem. Czy tak jest, czy też  $L(\cdot)$  może być funkcją, zależy od dominującego sposobu używania się w obiekcie i naszej wiedzy o tym zjawisku. Przykładowo, relacje stan-symptom dla frettingu i procesu zużycia ciernego będą miały charakter funkcyjny przez analogię do (2.21), (2.22), natomiast dla użycia zmęczeniowego rozwój szczeliny opisany jest równaniem różniczkowym (2.16). W związku z tym relacja stan-symptom będzie prościej zdefiniowana w dziedzinie operatorowej.

Tak więc  $L[r, X(\theta)]$  może być w ogólności operatorem różniczkowo-całkowym lub nawet różnicowym działającym na stan  $X(\theta)$  względem czasu eksploatacji  $\theta$ . W przypadkach uproszczonych będzie to jedynie funkcję miejsca  $r$  i stanu  $X(\theta)$ .

Mamy więc przyczynowe powiązanie między stanem i obserwowanym symptomem postaci:

$$S(r, \theta) = L[r, X(\theta)] + N(r, \theta), \quad (4.54)$$

które w zależności od relacji amplitudowej między  $L[\cdot]$  i zakłóceniami  $N(\cdot)$  może być pseudodeterministyczne dla małych  $N(\cdot)$  i probabilistyczne dla dużych zakłóceń. W pierwszym przypadku małych zakłóceń powiązanie stan-symptom może być znalezione stosunkowo łatwo i wobec tego możemy określić wartość  $S(\cdot)$  dla dowolnego  $\theta$  i dowolnego  $\Delta\theta$  w przód od momentu ostatniej obserwacji. W drugim przypadku znaczących zakłóceń  $N(\cdot)$  wiemy jedynie, że istnieje powiązanie przyczynowe, natomiast jego postać operatorową lub funkcyjną na ogół nie daje się ustalić. Trudności te mogą leżeć na dwu płaszczyznach:

- 1 - nagłych zmian stanu związanych z przypadkowością intensywności obciążeń zewnętrznych, co może zwiększyć lub zmniejszyć szybkość zużywania się obiektu.
- 2 - zakłóceń w obserwacji symptomu WA związanych ze sposobem pracy obiektu lub toru pomiarowego.

Tak więc do celów prognozy stanu należy zastosować wyrafinowane metody zaczerpnięte z analizy szeregów czasowych [95] i ekonometrii [96]. Zagadnienie prognozowania w diagnostyce jest jednak nieco inne, bo w każdym wypadku eksploatacji możemy założyć, że stan techniczny obiektu się pogarsza, nawet czasami monotonicznie. Jest to więc jakby prognozowanie kryzysu lub wzrostu w ekonometrii.

W świetle powyższego nasze dalsze rozważania o prognozowaniu podzielimy na dwie części:

- 1 - znany lub łatwy do wyznaczenia model stan-symptom;
- 2 - model stan-symptom nieznan i prawie niemożliwy do analitycznego od-  
tworzenia.