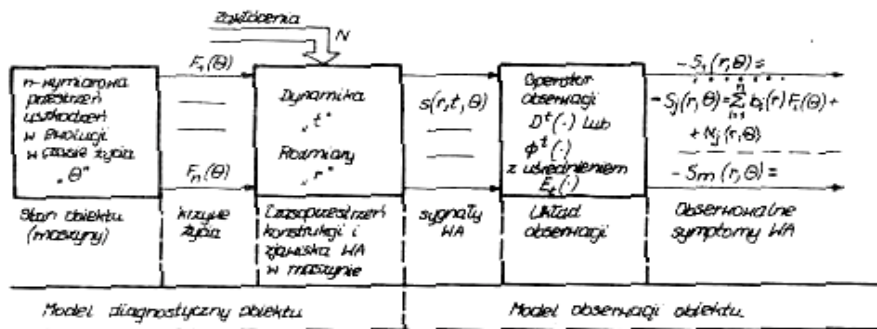


#### 4.4.2. Usrednianie liniowe po czasie eksploatacji i rozpiętości obiektu

Przedstawienie i motywacja efektywnej metody filtracji zakłóceń wymaga klarownego modelu diagnostycznej obserwacji obiektu mechanicznego. Modelem, który by pokazywał przekształcenie zaawansowania poszczególnych uszkodzeń w maszynie –  $F_i(\theta)$  w sygnał WA a następnie w symptom WA dzięki odpowiedniemu układowi obserwacji. Szukając dostatecznie ogólnego modelu diagnostycznego wróćmy do rozważań rozdziału 3.2, gdzie został przedstawiony model diagnostycznej obserwacji złożonego obiektu mechanicznego z n-niezależnymi uszkodzeniami opisywanymi przez krzywe życia  $F_i(\theta)$ ,  $i=1, \dots, n$ . Funkcje te  $F_i(\theta)$  w przykładowym obiekcie odzwierciedlają np. zaawansowanie: procesu zużycia łożyska tocznego, erozji kawitacyjnej wirnika, zmęczeniowe wyłamanie łopatki itp. - początkowo niezależnych uszkodzeń. Obiekt nasz jest również dostatecznie rozciągly tak, że mierząc te same symptomy WA w różnych miejscach obiektu (współrzędna - r) notujemy te same objawy zużycia  $F_i(\theta)$  lecz z różnym stosunkiem sygnału użytecznego do szumu zakłócającego. Model taki przedstawia rysunek 4.9 zaczerpnięty z [93], przy czym jest on spójny z rozważaniami rozdziału 3.2. Jak widać z rysunku i relacji (3.2), wygenerowany sygnał WA jest współ zmienniczy z zaawansowaniem uszkodzeń  $F_i(\theta)$  poprzez pierwotne sygnały uszkodzeń  $|V_i(t, \theta)| \sim F_i(\theta)$  i jest zakłócony przez szum  $n(r, t, \theta)$ . Tutaj sygnał znamionowy  $n(r, t, \theta)$  wykazany w (3.2) ujęto również w zakłóceniach. Ostatecznie więc sygnał WA można zapisać w postaci:

$$s(r, t, \theta) = \sum_{i=1}^n h(r_i, t, \theta) \theta V_i(t, \theta) + n(r, t, \theta) \quad (4.37)$$

gdzie  $\theta$  oznacza operację splotu charakterystyki impulsowej układu  $h(r_i, t, \theta)$  z sygnałem pierwotnym  $v_i(t, \theta)$ .



Rys.4.9. Model diagnostycznej obserwacji obiektu mechanicznego z n — wymiarową przestrzenią uszkodzeń [93]

Układ obserwacji uwidoczniiony na rysunku 4.9 umożliwia przetworzenie sygnału (4,37) na wielkości pomiarowe współ zmiennicze ze stanem obiektu: tzn. symptomy WA za pomoce operacji  $\Phi^t(\cdot)$  i usredniania  $E_t(\cdot)$  po czasie dynamicznym - t, zaś dyskryminanty za pomoce operacji  $D_k^t(\cdot)$  i usrednienia.

Operatory te i operacje szczegółowe przedstawiają wzory, (3.343.7). nie będziemy się więc dalej tym zajmować. Rezultat działania operatorów obserwacji można zaś zapisać w postaci:

- symptomów WA

$$S_j(r, \theta) = \sum_{i=1}^n b_i(r) F_i(\theta) + N_j(r, \theta), \quad j=1, \dots, n$$

- dyskryminant (4.38)

$$P_i(r, \theta) = b_i(r) F_i(\theta) + N_i(r, \theta), \quad i=1, \dots, n$$

Jak widać z powyższego, w obu przypadkach występuje składowa szumowa  $N_j(r, \theta)$ , której amplituda średniokwadratowa może być nawet rzędu części zdeterminowanej

lub w kategoriach stosunku sygnału do szumu

$$[N_j(r, \theta)]_{RMS} = \left[ \frac{1}{\Delta} \int_{\theta - \frac{\Delta}{2}}^{\theta + \frac{\Delta}{2}} N_j^2(r, \theta_o) d\theta_o \right]^{1/2} \leq \sum_{i=1}^n b_i(r) F_i(\theta) \quad (4.39)$$

gdzie  $\Delta$  - jest interwałem czasu uśredniania mniejszym od granicznego czasu awarii  $\Delta < \theta_{aw}$

O zakłóceniach  $N(r, \theta)$  zakładamy dodatkowo, że są przypadkowe w dziedzinach  $r$  i  $\theta$  z zerową wartością średnią, tzn.

$$E_\theta \{N_j(r, \theta)\} = 0, \quad E_r \{N_j(r, \theta)\} = 0, \quad j=1, \dots, m$$

i że w obu dziedzinach są wzajemnie nie skorelowane.

$$\frac{S}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i(r) F_i(\theta)}{[N_j(r, \theta)]_{RMS}} \geq 1$$

$$E_\theta \{N_u(r, \theta) N_v(r, \theta)\} = 0, \quad E_r \{N_u(r, \theta) N_v(r, \theta)\} = 0, \quad u \neq v \quad (4.40)$$

gdzie:  $E_\theta \{\bullet\} = \frac{1}{\theta_{inv}} \int_0^{\theta_{inv}} (\bullet) d\theta$ ,  $E_r \{\bullet\} = \frac{1}{v} \int_v (\bullet) dv$  są operatorami wartości

średniej po czasie eksploatacji  $\theta$  i objętości  $v$  obiektu.

Przystępując obecnie do poszukiwania metod podwyższania ilorazu sygnału do szumu zwróćmy wpiery uwagę na uśrednienie bieżące zwane również ruchomym, które jest stosowane często w ekonometrii [94] i w nieco innej postaci w analizie szeregów czasowych [95]. Uśrednianie to w myśl założeń o zerowej wartości średniej możemy zastosować do dziedziny czasu  $\theta$  wygładzając krzywa życia a minimalizując tym samym zakłócenia.

Oznaczając operator uśredniania bieżącego znacznikiem - b, można go w postaci całkowej dla symptomu  $S_j(r, \theta)$  wyrazić następująco:

$$E_\theta^b [S_j(r, \theta)] = \frac{1}{\Delta} \int_{\theta - \frac{\Delta}{2}}^{\theta + \frac{\Delta}{2}} S_j(r, \theta_o) d\theta_o = S_j^*(r, \theta),$$

lub w zamiennej dyskretnej postaci - w+l- punktowej

$$E_\theta^b [S_j(r, \theta_u)] = \frac{1}{W+1} \sum_{t=u-\frac{W}{2}}^{t=u+\frac{1}{2}} S_j(r, \theta_t) = S_j^*(r, \theta_u), \quad (4.41)$$

gdzie  $\theta_t$  - kolejne równoległe punkty czasowe pomiaru symptomu WA,  $t=0,1,\dots$  zaś  $w+1$  jest nieparzystą liczbą punktów branych do uśrednienia - zazwyczaj  $w = 3$  lub rzadziej 5.

W konkretnym przypadku uśredniania trójpunktowego kolejne wartości wygładzonej realizacji krzywej życia można znaleźć z wzoru:

$$S_j^*(r, \theta_u) = \frac{1}{3} [S_j(r, \theta_{u-1}) + S_j(r, \theta_{u+1})]$$

(4.42)

$$u=0, 1, \dots, P,$$

przy czym przy obliczeniu punktu początkowego  $u = 0$ . zeruje się pierwszy wyraz (4.42) oraz ostatni przy obliczaniu punktu końcowego.

W pracy [93] pokazano minimalno-zakłóceniami własności operacji uśredniania (4.41 ÷ 4.42). odsyłając zatem taro zainteresowanych weźmy pod

Wersja dyskretna takiego uśredniania po przestrzeni obiektu z  $M$  punktami pomiarowymi będzie bardziej czytelna, jak się wydaje, gdyż

$$\langle S_j(\theta) \rangle_r = \frac{1}{M} \sum_{u=1}^M S_j(r_u, \theta) = \frac{1}{M} \sum_{u=1}^M \left[ \sum_{i=1}^P \delta_i(r_u) P_i(\theta) \right] \quad (4.44)$$

Jak widać z powyższego, zarówno wersja ciągła i dyskretna dotyczy tego samego czasu eksploatacji  $\theta$ . Zatem tego typu uśrednianie może znaleźć zastosowanie przy WA badaniu jakości obiektów nowych  $\theta = 0$ , lub też przy próbach rozróżnienia stanu technicznego obiektów w tym samym czasie eksploatacji  $\theta \neq 0 = const$ . Na rysunku 4.12, który omówiony będzie później, pokazano zastosowanie uśredniania objętościowego po 18 punktach pomiarowych stanowiska do badania łożysk dla jednego symptomu, oraz iloczynu i ilorazu symptomów.

Jak widać z tego przykładu wśród technik uśredniania liniowego najlepszą własność dyskryminującą stanu łożysk w głowicy ma uśrednianie objętościowe iloczynów

symptomów:  $\frac{1}{18} \sum_1^{18} \hat{v}_i \tilde{v}_i$  i jest ono konkurencyjne z uśrednianiem geometrycznym  $\prod_1^{18} \hat{v}_i$ , które

omówimy w następnym punkcie. Widać więc, że tak prosta operacja uśredniania po objętości posiada liczące się własności filtracji zakłóceń symptomów-pomiarowych i warto o tym pamiętać w zagadnieniu porównywania stanu technicznego obiektów podobnych dla  $\theta = 0$  i  $\theta = const$ .