

3.3.1. Tribologiczny model generacji i propagacji zjawisk WA

Chcąc w pełni wykorzystać informacje o stanie technicznym zawarte w procesach WA należy najpierw zapoznać się z ich mechanizmem generacji i propagacji. Weźmy więc pod uwagę (dla poczynienia założeń) fakty eksperymentalne możliwe do uchwycenia w każdej maszynie. Analiza procesów dynamicznych, takich jak: drgania, hałas, pulsacje, naprężenia, chwilowy moment napędowy itp. w maszynach o stacjonarnym ruchu okresowym wykazuje, że procesy te można uznać jako słabo okresowe. Złożone są one z procesu zdeterminowanego - poliharmonicznego i z zakłóceń o szerokim widmie - tzw. szumu. Dokładna analiza widmowa tych procesów potwierdza ten wniosek, wykazując obecność w widmie częstości podstawowej związanej z liczbą obrotów oraz szeregu liniowo zależnych wyższych składowych widmowych (np. harmonicznym). Co więcej, można wskazać typy maszyn i urządzeń, gdzie znając ich kinematykę można z góry określić jaka składowa w widmie procesu jest związana z pracą danego elementu maszyny. Jednak amplitudy tych składowych podlegają silnym fluktuacjom tak, że predykcja stanu maszyny na podstawie amplitudy składowej widmowej może być przeprowadzona niezawodnie tylko w prostych przypadkach. Powodów tych fluktuacji jest wiele zaś najważniejsze z nich można scharakteryzować następująco.

Po pierwsze, chwilowa częstość ruchu roboczego - podstawowego maszyny ulega niewielkim zmianom w ramach jednego obrotu jak i między obrotami z powodu niejednorodności (np. uderzenia) i losowości obciążeń roboczych. W związku z tym cały szereg harmonicznym liniowo związanych z obrotami podlega takim samym fluktuacjom.

Po drugie, odbiór sygnału diagnostycznego (zwykle drganiowego) odbywa się na ogół w jednym z punktów układu dynamicznego maszyny. Układy te mają charakter mechano – akustyczny i cechują się wielo rezonansową transmitancją i małymi stratami. W związku z tym każda znacząca fluktuacja szeregu harmonicznym związanych z ruchem podstawowym maszyny daje wzmocnioną fluktuację odpowiedzi konstrukcji maszyny jako układu dynamicznego. W konsekwencji fluktuacja ta jest dodatkowym zakłóceniem sygnału diagnostycznego odbieranego w pewnym punkcie konstrukcji maszyny. Wspomniane wyżej małe tłumienie konstrukcji mechanicznych dla częstotliwości rzędu hertzów i kilohertzów jest jeszcze powodem dużej liczby składowych procesu WA, pochodzących z różnych odległych miejsc konstrukcji maszyny, a z punktu widzenia celu diagnozowania mających charakter zakłóceń. Z punktu widzenia propagacji drgań tłumienie zaczyna odgrywać istotną rolę dopiero dla częstotliwości rzędu kilkunastu kilohertzów i wyżej, gdzie nie obserwuje się już zjawisk rezonansowych, a amplituda fali sprężystej maleje z odległością r co najmniej jak $1/r$.

Inna przyczyna fluktuacji procesów WA to obecność szumu szerokopasmowego o charakterze addytywnym lub multiplikatywnym (modulacje). Może on być spowodowany zjawiskami tarciovymi w parach kinematycznych, emisję akustyczną, przyczynami zewnętrznymi i generalnie zjawiskami tribowibro – akustycznymi, które nie są akurat celem diagnozowania.

Omówione skrótowo wyżej składowe dynamiczne procesów roboczych i tribo wibroakustycznych podlegają ewolucji amplitudy i widma w miarę postępującego zużycia, co między innymi odzwierciedla wpływ czasu eksploatacyjnego Y . Zakładając zaś, że okres ruchu podstawowego maszyny wynosi T możemy w ślad za [48] przystąpić do budowy tribo wibroakustycznego modelu generacji zjawisk WA w maszynach o ruchu okresowym. Niżej sprecyzowano najważniejsze cechy tego modelu.

1. Stan maszyny (mechanizmu, podzespołu) określony jest jednoznacznie przez sygnał charakterystyczny $\varphi_i(t, Y)$; $0 \leq t \leq T$; $0 \leq Y \leq Y_{aw}$, generowany oddzielnie przy każdym obrocie, $i=1, \dots$. Sygnał ten, zwany również zdarzeniem elementarnym, ulega zmianom w czasie dynamicznym - szybkim t oraz ewolucji w czasie wolnym życia obiektu Y .

2. Sygnał charakterystyczny jest złożony z procesu zdeterminowanego $\varphi_0(\cdot)$ i przypadkowego $n_i(\cdot)$, zaś ich intensywność i skład widmowy charakteryzują stan obiektu. Podczas i -tego obrotu wygenerowane jest więc zdarzenie elementarne.

$$\varphi_i(t, Y) = \varphi_0(t, Y) + n_i(t, Y), \quad t \in (iT, (i+1)T), \quad i = 1, \dots \quad (3.8)$$

3. Ruch obrotowy maszyny (w ogólności okresowy) przekształca sygnał charakterystyczny, przez tzw. transformację kinematyczną, na sygnał ciągły $x(t, \Theta)$. W pierwszym przybliżeniu transformację tę można rozumieć jako T – okresowe przedłużanie (powtarzanie), tzn.

$$x(t, \Theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t - iT)U(t - iT) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t, \Theta) \otimes \delta(t - iT). \quad (3.9)$$

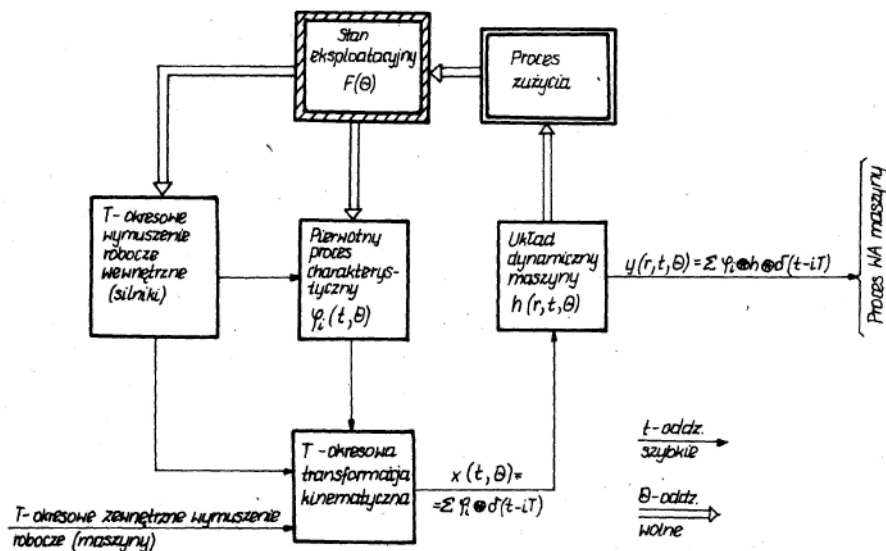
gdzie: $U(q) = \begin{cases} 0, q \leq 0 \\ 1, q > 0 \end{cases}$, zaś gwiazdka \otimes oznacza znaną

już operację splotu oraz $\delta(t - iT)$ jest okresową dystrybucją Diraca.

4. Przekształcony w ten sposób sygnał charakterystyczny, będący dynamicznym odwzorowaniem stanu obiektu, wymusza drgania otaczających systemów mekano – akustycznych, tak że odbierany na powierzchni układu mechanicznego sygnał $y(r, t, \Theta)$ jest w najprostszym przypadku odpowiedzią układu dynamicznego o charakterystyce impulsowej $h(r, t, \Theta)$ na wymuszenie $x(t, \Theta)$. Tutaj współrzędna przestrzenna „r” jest promieniem wektorem od punktu odbioru do miejsca pobudzenia przez $x(t, \Theta)$. Stąd też na podstawie powyższego, a przez analogię do (3.2). możemy napisać:

$$y(r, t, \Theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t, \Theta) \otimes h(r, t, \Theta) \otimes \delta(t - iT). \quad (3.10)$$

5. Powyższy proces drganiowy wpływa zwrotnie na intensywność procesu zużycia i w dalszym ciągu na stan techniczny maszyny (podzespołu) przez dodatnie destrukcyjne sprzężenie zwrotne (tak jak na rysunku 3.5). Ten zwrotny wpływ procesu destrukcji ujawnia się powolną zmianą amplitudy i kształtu procesu pierwotnego $\varphi_i(t, \Theta)$.



Rys.3.5. Schemat cybernetyczny zużyciowego modelu generacji zjawisk WA w maszynach [48]

6. Dla ustalonej wartości czasu eksploatacji $Y = \text{const}$ wszystkie systemy dynamiczne w naszym modelu generacji to liniowe i stacjonarne układy, których własności jednoznacznie opisuje odpowiedź impulsowa $h(r, t, Y)$ lub jej transformaty Laplace'a $H(r, p, Y)$ lub Fouriera $\hat{H}(r, j\omega, Y)$ (tzw. transmitancje operatorowa i widmowa).

Opisany wyżej ciąg założeń i implikacji jest w istocie zużyciowym (tribologicznym) modelem generacji procesów WA i można go przedstawić w postaci modelu funkcjonalnego dla jednego uszkodzenia, tak jak na rysunku 3.5.

Jak wiadomo, źródłem ruchu obrotowego i oddziaływań ruchowych może być tzw. wymuszenie wewnętrzne, jak w silnikach, oraz wymuszenie zewnętrzne, jak w pozostałych maszynach i urządzeniach. Jest więc oczywiste, że proces WA – $y(r, t, Y)$ musi nieść również informacje o stanie dynamicznym źródła wymuszenia wewnętrznego. Takie też założenie przyświeca rysunkowi 3.5 jako ogólnemu trybologicznemu modelowi generacji zjawisk WA w maszynach.