

### 4.3.3. Wartość graniczna w biernym eksperymencie diagnostycznym

Jedną z technik wnioskowania w probabilistycznym modelu diagnostycznym (p.4.2.3) opartą jest na znajomości wartości granicznej symptomu –  $S_1$ . Jest ona szczególnie pomocna, kiedy ze względu na specyfikę eksploatowanych maszyn bierne posługiwanie się normami diagnostycznymi (np. ISO--2732) nie daje dobrych wyników i należy, opierając się na biernym eksperymencie diagnostycznym, wyznaczyć samodzielnie wartość graniczną  $S_1$  symptomu WA.

Dla wykonania tego zadania przyjmijmy, że eksploatujemy w ruchu ciągłym grupę  $M$  maszyn o rozmiarze kilkunastu lub lepiej kilkudziesięciu obiektów tego samego typu. Pośród nich średnio liczba  $M_z$  jest zdalna (w ruchu) a reszta  $(M-M_z)$  w remoncie. Wynikające stąd oszacowanie *g o t o w o ś c i* (zdatności) eksploatowanej grupy maszyn wynosi

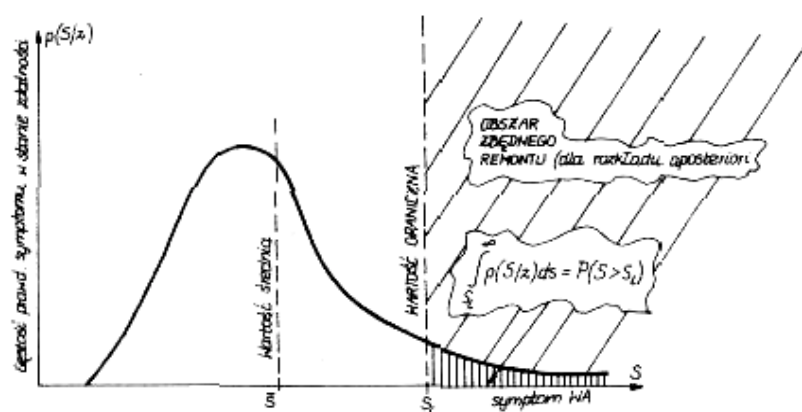
$$P(z) = \frac{M_z}{M}$$

i jest ono zbiorowym wskaźnikiem stanu technicznego maszyn i jakości ich obsługi i napraw.

Od grupy maszyn pracujących wykonujemy w odpowiednich odstępach czasu eksploatacji (np. co tydzień lub lepiej w odstępach  $\theta_a/20$  do  $\theta_a/30$  i w

odpowiednich miejscach, (np. drgania poziome łożyska), pomiary diagnostyczne zorientowanej wielkości drganiowej. Wielkością tę może być np. szczytowa amplituda prędkości drgań  $v$  mierzona dla oceny ogólnego stanu technicznego maszyny. Dysponując znaczne liczbę  $N$  takich obserwacji (np.  $N > 30$ ) maszyn w zróżnicowanych stanach eksploatacyjnych możemy się pokusić o samodzielne wyznaczenie wartości granicznej stanu zdalnego  $S_1$  obserwowanego symptomu WA. Technikę wyznaczania tej granicznej wartości oparte na metodzie Neymana-Pearsona teorii decyzji statystycznych przedstawiono w pracach autora [88,89] i można ją w skrócie objaśnić jak niżej.

Przyjmijmy, że dopuszczalny poziom (prawdopodobieństwo) zbędnych remontów maszyn, na jakie zezwala nasza polityka remontowo-eksploatacyjna, wynosi  $A$ , np.  $A = 0,05$ , co oznacza 5% możliwych zbędnych remontów. Błędna decyzja o zbędnym remoncie zgodnie z regułą wnioskowania (4.27) nastąpi wtedy, gdy symptom  $S$  maszyny będącej w stanie zdalności ( $M_z$ ) przekroczy wartość  $S_1$  ( $S > S_1$ ). Całkowite prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest iloczynem współczynnika gotowości (prawdopodobieństwa zdalności)  $P(z)$  i prawdopodobieństwa przekroczenia wartości  $S_1$  w stanie zdalnym  $P(S > S_1)$  (patrz rys.4.7). Przyrównując to do zadanego prawdopodobieństwa zbędnych remontów  $A$ , mamy „naczelną” relację Neymana-Pearsona, na podstawie której możemy wyznaczyć optymalną wartość graniczną symptomu  $S_1$  minimalizującą prawdopodobieństwo wystąpienia awarii,



$$P(z) \cdot P(S > S_1) = A \tag{4.34}$$

Rys.4.7. Ilustracja podstawy wyjściowej diagnostycznego modelu probabilistycznego do wyznaczania wartości granicznej  $S_1$  techniką Neymana-Pearsona teorii decyzji statystycznych [89]

Obliczenie prawdopodobieństwa przekroczenia nieznannej jeszcze wartości  $S_1$  nie jest proste, lecz równość definicyjną (4.34) można zastąpić prostym oszacowaniem wg nierówności Czebyszewa, które ostatecznie daje [88, 89]

$$S_1 \leq \bar{S} + \sigma_s \sqrt{\frac{P(z)}{2A}} \quad (4.35)$$

gdzie:  $S_1$  - szukana wartość graniczna symptomu.

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i \quad \text{- wartość średnia symptomu w obserwowanej grupie maszyn (M) z liczbę N obserwacji maszyn w różnych stanach eksploatacyjnych.}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2} \quad \text{- odchylenie standardowe obserwacji.}$$

$$P(z) = \frac{M_z}{M} \quad \text{- ocena prawdopodobieństwa zdatności (gotowość) obserwowanej grupy maszyn,}$$

$A$  = dopuszczalne w danym zakładzie prawdopodobieństwo zbędnych remontów (błędnych decyzji diagnostycznych),  $0 < A < 1$ .

Jak wynika z powyższego wzoru, wartość graniczna  $S_1$  wynika tu wprost z własności obserwowanej grupy maszyn, zależy ona od ich ogólnego stanu i jakości remontów ( $S, \sigma_s, P(z)$ ) oraz od założonego poziomu zbędnych [remontów -  $A \leq 1$ ].

Dla grupy maszyn nowo uruchomionych o dużej jakości remontów średnia wartość symptomu drganiowego  $\bar{S}$  i jego rozrzut  $\sigma_s$  będą małe, zaś gotowość  $P(z)$  duża. Można więc żądać małego poziomu zbędnych remontów.

co w efekcie da podwyższenie wartości granicznej symptomu  $S_1$  (4.35). Podobnie przejście od systemu remontów planowo zapobiegawczych do systemu remontów na podstawie znajomości rzeczywistego stanu technicznego ocenianego za pomocą pomiaru symptomu  $S$  da w efekcie stopniowe podwyższenie  $P(z)$  z nieznanym obniżeniem  $\bar{S}$  i  $\sigma_s$ . Można więc za pomocą wzoru (4.36) stopniowo nastawiać wartość graniczną  $S_1$  podczas wdrażania diagnostyki WA w zakładzie przemysłowym.

Dla lepszej zrozumiałości i zaprezentowania możliwości powyższej techniki wyznaczania  $S_1$  weźmy pod uwagę przykład zaczerpnięty z rzeczywistego przypadku opracowania procedury diagnozowania wentylatorów podmuchu bloku energetycznego [90,91], przedstawiony na rysunku 4.8. Jak wynika z rysunku 4.8 i z wielu innych [90,91] nie prezentowanych j tutaj, histogram rozkładu amplitud jest ukośny — niesymetryczny, co zresztą wynika z praw odwzorowania krzywej życia w dziedzinę symptomu w biernym eksperymencie diagnostycznym (patrz sumaryczna gęstość rozkładu dla maszyn w ruchu np. na rys.4.6, która tutaj jest gęstością stanu zdatności  $p(s/z)$ ).

Do obliczeń wartości granicznej z danymi:  $N = 101$  obserwacji, wykonywanych co dwa tygodnie na 12-tu obiektach o gotowości:  $P(z) = 0,9 = 90\%$ , przyjęto dopuszczalny poziom zbędnych remontów  $A = 0,1 = 10\%$ , jako że wentylatory te miały bardzo długi sumaryczny czas pracy i mały średni czas między awaryjny rzędu kilku miesięcy. Z ich obserwacji wynikało, że jedynym istotnym sposobem uszkodzenia się jest nie wyrównoważenie wirnika, co daje sinusoidalny charakter przebiegu prędkości drgań. Można więc przyjąć,

$$\text{że współczynnik szczytu } C = \frac{\bar{v}}{v_{RMS}} = 2 \quad \text{i przeliczyć wytyczne wartości}$$

granicznej ISO-2732 grupa G z  $v_{RMS} = 11,8 \text{ mm/s}$  do granicznej wartości szczytowej

$$\bar{v}_1 = C \cdot v_{RMS} = 15,8 \text{ mm/s} .$$

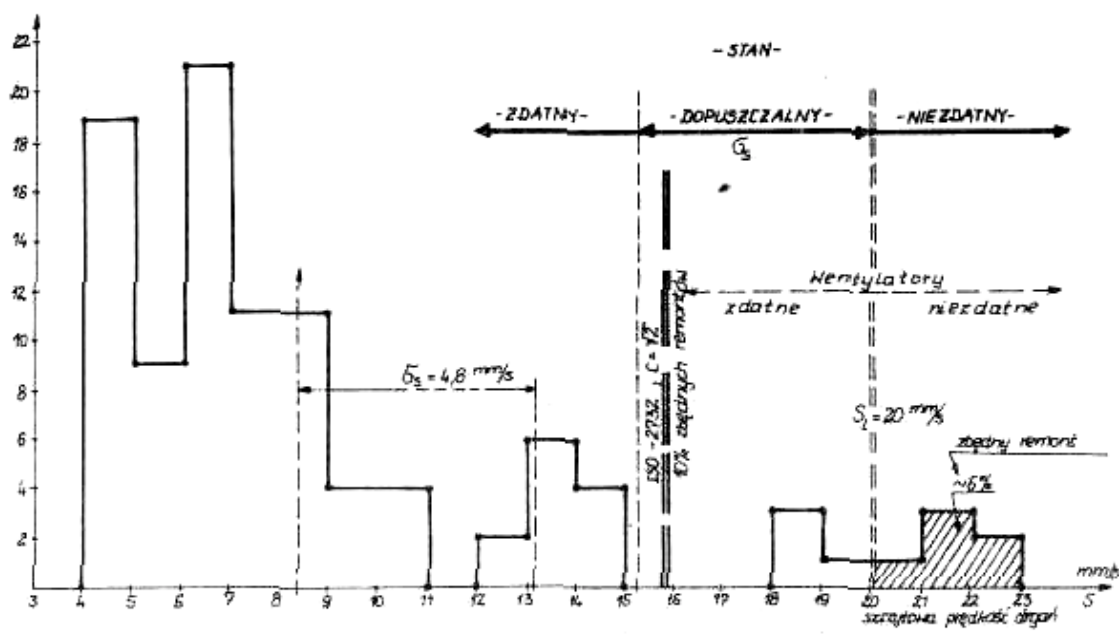
Na podstawie przedstawionej techniki szacowania wartości granicznej (wzór 4.35) mamy z danych rysunku 4.8  $S_1 = 20 \text{ mm/s}$ , co daje rzeczywisty poziom zbędnych remontów  $\sim 6\%$ . Natomiast wg zaleceń ISO otrzymujemy 10% zbędnych remontów (patrz rys.4.8). Można więc stwierdzić, że uzyskaliśmy licząc się technikę szacowania wartości granicznej –  $S_1$ , uwzględniając realne warunki eksploatacji w zakładzie przemysłowym. Możemy więc przy ustalaniu  $S_1$  każdorazowo uwzględnić obiektywna własności eksploatowanej grupy maszyn znane z eksperymentu biernego  $P(z)$ ,  $S$ ,  $\sigma_s$ ), a także subiektywne przesłanki polityki eksploatacyjnej kierownictwa zakładów zawarte w dopuszczalnym poziomie zbędnych remontów - A.

Jako ostateczny rezultat przedstawionego eksperymentu na rysunku 4.8 naniesiono wynikiowy podział wentylatorów na dwie klasy zdatności: i

$S < S_1 = 20 \text{ mm/s} \rightarrow$  wentylatory ZDATNE,

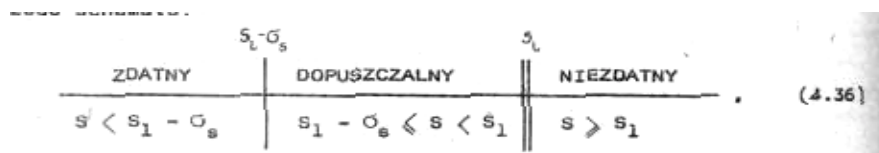
$S \geq S_1 = 20 \text{ mm/s} \rightarrow$  wentylatory NIEZDATNE

*Wentylator podmuch łożysko toczne wewnętrzne -  
drgania pionowe  $N=101$ ;  $P_2O,9$ ;  $A=0,1=10\%$   
WDR 1700/1800 , [91]*



Rys.4.8. Histogram rozkładu amplitud szczytowej prędkości drgań wentylatorów podmuchu

Zaproponowano również tu trójklasowy podział stanu wentylatorów wg poniższego schematu:



gdzie, jak widać, odchylenie standardowe  $\sigma_s$  jest tu miarę szerokości przedziału niepewności (DOPUSZCZALNY). Zalecenie to może wydawać się sprzeczne z zaleceniem poprzedniego punktu, gdzie zaproponowano szerokość przedziału  $3 \sigma_s$  (4.33). Jak pamiętamy jednak punktem wyjścia był tam rozkład przedawaryjnych wartości symptomu  $p(S_a)$ . Tutaj natomiast bazujemy na całym rozkładzie populacji zdatnej  $p(S/z)$  ze znacznie większym odchyleniem standardowym, gdyż  $\sigma_s > \sigma_a$  (patrz lewa strona rys. 4.6).

Podsumowując zagadnienie wyznaczania wartości granicznych symptomu i klas stanu można polecić wyżej referowany eksperyment bierny z wzorem (4.35), który przy małym nakładzie pracy i obliczeń uwzględnia większość cech specyficznych - istotnych dla danego zakładu przemysłowego. Podejście zaproponowane tutaj nie jest jedyne i w zespole autora trwa dyskusja na ten temat i proponuje się metody alternatywne, bazujące na eksperymencie biernym i częściowej znajomości krzywej życia. Jest to trochę bardziej skomplikowane i jak dotąd nie zakończone, stąd też zainteresowanych odsyłamy do prac Nowickiego i Sordyla na ten temat [np. 92].