

METODA IDENTYFIKACJI KRYTYCZNYCH STANÓW NIEZDATNOŚCI NA PRZYKŁADZIE WIRÓWKI CUKROWNICZEJ*

Paweł MIKOŁAJCZAK Krzysztof LIGIER

Katedra Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn, e-mail: klig@uwm.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę wyboru krytycznych stanów niezdatności, w której uwzględniono pewność ich występowania oraz skutki nimi wywołane. Wyznaczono macierz wskaźników ocenowych zagrożeń wywołanych stanami niezdatności. Metodę opisano na przykładzie identyfikacji stanów krytycznych wirówki cukrowniczej typu ACWW 1000.

Słowa kluczowe: identyfikacja, stan krytyczny, współczynnik zagrożenia, wirówka cukrownicza.

METHOD OF IDENTIFICATION OF CRITICAL DAMAGE STATES ON THE EXAMPLE OF SUGAR CENTRIFUGE

Summary

In the paper there was presented the method of identification of the damage state. The method meets the certainty of their occurrence and their consequences. The matrix of critical state indexes was established. The method was described on the example of identification of the critical states of sugar centrifuge type ACWW 1000.

Keywords: identification, critical state, critical factor, sugar centrifuge.

1. WSTĘP

W literaturze przedmiotu nie są podane uniwersalne kryteria stosowania analizy zagrożeń wywołanych stanami niezdatności. Pojęcie zagrożenia jest ściśle związane ze znaczeniem skutków i prawdopodobieństwem wystąpienia uszkodzenia. Samo pojęcie „znaczenie skutków uszkodzenia” może być definiowane w różny sposób, w zależności od tego, czy problem jest związany z ochroną życia, stratami ekonomicznymi, albo gotowością techniczną.

W celu zdefiniowania zagrożenia potrzebna jest skala wartości pozwalająca oszacować znaczenie skutków uszkodzenia w świetle rozpatrywanych kryteriów. W załączniku normy „Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń” [5] podano przykład klasyfikacji znaczenia skutków uszkodzenia dzieląc skutki na cztery główne poziomy:

- I poziom krytyczności – każde zdarzenie, które może spowodować degradację osiągnięć funkcjonalnych systemu prowadząc do pomijalnych zniszczeń systemu lub środowiska: bez zagrożenia życia lub groźby kalectwa.
- II poziom krytyczności – każde zdarzenie, które powoduje degradację osiągnięć funkcjonalnych

systemu bez znacznych zniszczeń systemu i bez zagrożenia życia lub groźby kalectwa.

- III poziom krytyczności – każde zdarzenie może spowodować utratę pierwotnej funkcji systemu, prowadząc do znaczących zniszczeń lub środowiska i pomijalnego ryzyka utraty życia lub kalectwa.

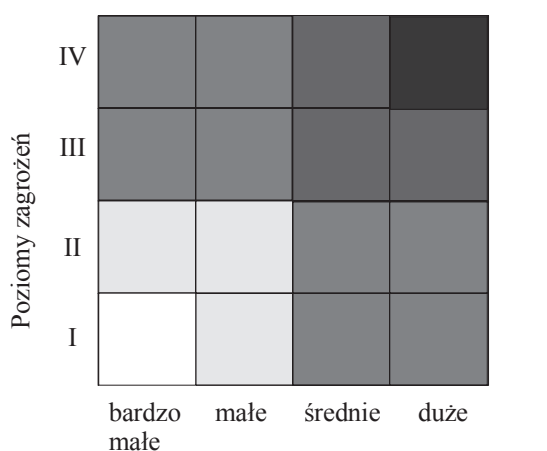
- IV poziom krytyczności – każde uszkodzenie może spowodować utratę pierwotnej funkcji systemu, prowadząc do znaczących zniszczeń systemu lub środowiska i/lub spowodować utratę życia lub kalectwa.

W przedstawionym przykładzie liczba poziomów wynika z połączenia kryteriów, które uznano za istotne i które są związane z zagrożeniem personelu, utratą funkcji systemu, negatywnym wpływem na środowisko i zniszczeniem materiałów. Jednak sposób przedstawienia przez normę opisu poziomów zagrożeń nie jest łatwy w interpretacji. Przyjęcie czterech rodzajów zagrożeń i też tylko czterech poziomów nie wyczerpuje wszystkich możliwych kombinacji. Dla dwuwartościowej miary rozmytej wystąpienia zagrożenia (wysoce prawdopodobne i mało prawdopodobne) liczba tych kombinacji wynosi 16. Brak jest wskazania w normie według jakich kryteriów dokonano podziału zagrożeń tylko na cztery grupy.

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr: 5T07B03622

Ocena zagrożeń może być przeprowadzona przy wykorzystaniu siatki krytyczności, w której na osi rzędnych uwzględnia się kategorie zagrożeń (poziomy), a na osi odciętych prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń, które może być arbitralnie podzielone na wartości rozmyte: bardzo małe, małe, średnie i duże.

Po sklasyfikowaniu rodzajów uszkodzeń i przypisaniu im odpowiedniego prawdopodobieństwa można je przyporządkować do odpowiedniego kwadratu na wykresie. Im dalej kwadrat ten jest usytuowany od początku wykresu wzdłuż przekątnej, tym większe jest zagrożenie wywołane wystąpieniem uszkodzenia. Na rys.1.1 przedstawiono siatkę zagrożeń z zaznaczonymi obszarami krytyczności uszkodzeń.



Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia

- uszkodzenia o maksymalnej krytyczności
- uszkodzenia o istotnej krytyczności
- uszkodzenia o przeciętnej krytyczności
- uszkodzenia o niskiej krytyczności
- uszkodzenia o minimalnej krytyczności

Rys. 1. 1. Siatka krytyczności uszkodzeń

Należy tutaj zauważyć, że w proponowanej przez normę [5] metodzie brak jest konkretnej miary liczbowej, która mogłaby posłużyć do dokładniejszej analizy wpływu niezdatności na potencjalne zagrożenia. Jeżeli zwiększy się liczbę czynników np. o kryteria ekonomiczne, straty produkcyjne, niezawodność, jakość produktu spowoduje to znaczący wzrost liczby poziomów zagrożeń, które by obejmowały dostateczną liczbę kombinacji branych pod uwagę czynników.

Dodatkową wątpliwość nasuwa terminologia zastosowana w normie [5]. Podaje się w niej jako jedno z kryteriów zagrożeń „utrata pierwotnych funkcji systemu”, nie wyjaśniając tego pojęcia. Można się jedynie domyślać, że chodzi tutaj o utratę zdatości do spełnienia przez cały obiekt założonych funkcji ze względu na zaistniały stan

techniczny [4]. Norma zawiera również termin „krytyczność uszkodzeń”. Wydaje się, że lepszym określeniem będzie „stopień zagrożenia” wywołany stanem niezdatności, na podstawie którego można identyfikować stany krytyczne, a więc takie które powodują poważne skutki dla ludzi, produktu, obiektów technicznych lub ekonomiczne. Wobec tego, w dalszej części pracy posłużono się już terminami: „zagrożenie, stopień zagrożenia, wskaźnik zagrożenia”. Wątpliwości terminologiczne biorą się prawdopodobnie z tego, że polska norma [5] jest wiernym tłumaczeniem normy IEC 812:1985 [2].

Podobne podejście, jak w [5] do powiązania prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia i jego skutków (w tym przypadku za pomocą siatki łączącej prawdopodobieństwo i ryzyko) można znaleźć w metodzie RBI (Risk Based Inspection) [1]. Jednak i ta metoda nie proponuje miary, która by pozwalała na wielokryterialną ocenę zagrożeń.

Wobec powyższego zasadnym staje się opracowanie metody analizy zagrożeń stanów niezdatności, która by spełniała ogólne założenia normy, a jednocześnie zawierała nowe elementy związane przede wszystkim z miarami liczbowymi pozwalającymi na identyfikację stanów krytycznych.

2. ZAŁOŻENIA IDENTYFIKACJI STANÓW KRYTYCZNYCH

Za kryterium identyfikacji krytycznych stanów niezdatności przyjęto stopień pewności ich wystąpienia oraz skutki, uwzględniające:

- utratę zdatości maszyny do spełnienia założonych funkcji,
- zagrożenie dla jakości produktu,
- zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi,
- zagrożenia dla innych maszyn,
- straty ekonomiczne.

Dla poszczególnych rodzajów skutków w stanach niezdatności przydzielono skalę rang (0,1,2,3,4), gdzie 0 oznacza brak wpływu niezdatności na skutek, 1 – nikły wpływ (mało prawdopodobny), 2- przeciętna pewność, 3 - wysoka pewność, że dany stan niezdatności wywoła określony skutek, 4 – pełna pewność o wystąpieniu skutku. Przypisanie wartości rang skutkom niezdatności dokonano na podstawie opinii ekspertów (pracowników działu utrzymania maszyn Cukrowni Głinojeck).

Do wyznaczenia pewności wystąpienia stanów niezdatności posłużyły eksploatacyjne dane historyczne, wyniki przeprowadzonych badań w latach 2002-2003 z wykorzystaniem formy bierno - czynnej eksperymentu diagnostycznego oraz opinie ekspertów z działu utrzymania maszyn Cukrowni Głinojeck. Za miarę pewności wystąpienia stanu niezdatności przyjęto stopień pewności (CF) wyznaczone ze wzoru:

$$CF_i = \frac{P_{Hi} + P_{Bi} + CF_{Ei}}{3}, \text{ gdzie:}$$

CF_i – stopień pewności wystąpienia i -tego stanu niezdatności należącego do zbioru S wyznaczonego jako: $S = S_H \cup S_B \cup S_E$,

S_H – zbiór stanów niezdatności odnotowany w materiałach archiwalnych,

S_B – zbiór stanów niezdatności zidentyfikowanych podczas badań,

S_E – zbiór stanów niezdatności wymieniony przez ekspertów.

P_{Hi} – prawdopodobieństwo wystąpienia i -tego stanu wyznaczone na podstawie eksploatacyjnych danych historycznych:

$$P_{Hi} = \frac{S_{Hi}}{H},$$

S_{Hi} – liczba odnotowanych i -tego rodzaju stanów niezdatności w archiwalnych opracowaniach, H – liczba wszystkich odnotowanych stanów niezdatności w archiwum.

P_{Bi} – prawdopodobieństwo wystąpienia i -tego stanu wyznaczone na podstawie badań w

latach 2002 - 2003: $P_{Bi} = \frac{S_{Bi}}{B}$, s_{bi} – liczba

zidentyfikowanych i -tego rodzaju stanów niezdatności w badaniach, B – liczba wszystkich zidentyfikowanych stanów niezdatności podczas przeprowadzonych badań.

CF_{Ei} – stopień pewności wystąpienia i -tego stanu określony przez ekspertów, $CF_{Ei} \in \langle 0 - 1 \rangle$.

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektami badań były wirówki cukrownicze (12 szt.) ACWW1000, eksploatowane w Cukrowni Głinojeck.

Wirówka ACWW1000 wykorzystywana jest do wirowania cukrzycy, w wyniku czego otrzymuje się cukier II rzutu. Maszyna jest użytkowana kampanijnie średnio przez 2 – 3 miesiące w roku. Pracuje w trybie ciągłym, uruchamiana jest na początku kampanii cukrowniczej a zatrzymywana po jej ukończeniu. Jeśli nie wystąpi awaria, maszyna nie jest zatrzymywana w czasie kampanii. Wirówki zaliczane są do grupy maszyn krytycznych ze względu na brak rezerw niezawodnościowych. W przypadku awarii możliwe jest przejście zadań przez maszyny zdadne, lecz wiąże się to ze spadkiem wydajności produkcji.

Charakterystyka techniczna:

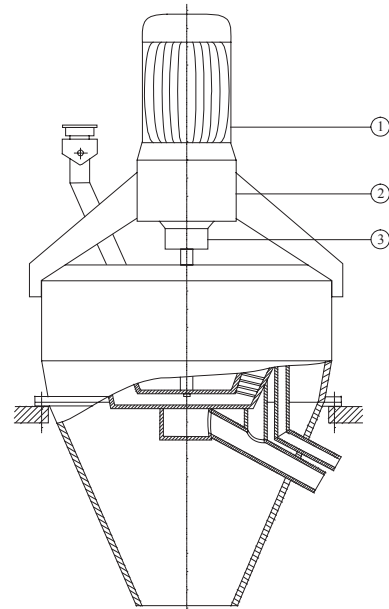
- moc silnika napędowego: 55kW,
- obroty znamionowe silnika napędowego: 1470 obr/min.

Zasilanie maszyny przez falownik pozwala uzyskać wyższe prędkości obrotowe wału silnika, jednak ze względu na częstotliwości drgań własnych

wirówki ustalono roboczą prędkość obrotową na 1800 obr/min.

Przekazywanie momentu obrotowego z silnika na wał bębna roboczego jest realizowane bezpośrednio za pomocą sprzęgła nierozłącznego podatnego.

Schemat wirówki z zaznaczonymi punktami pomiarowymi, wykorzystanymi do identyfikacji stanów niezdatności na podstawie analizy drgań przedstawiono na rys 3.1.



Rys. 3.1. Schemat wirówki ACWW1000
Punkty pomiaru drgań: 1 – silnik napędowy, 2 – osłona sprzęgła, 3 – obudowa łożyskowania

4. METODYKA BADAŃ

Do wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia stanu niezdatności P_{Hi} (patrz rozdział 2) posłużyły dane zgromadzone w dokumentach dotyczących identyfikacji stanów wirówek, które były sporządzone w latach: 1998-2001.

Natomiast badania eksperymentalne prowadzono w czasie kampanii cukrowniczych 2002 i 2003 roku, wykorzystując formę bierno-czynną eksperymentu diagnostycznego [6]. Celem tych badań była identyfikacja stanów niezdatności wirówek, głównie na podstawie analizy amplitudowo – częstotliwościowej drgań.

W badaniach wykorzystano komputerowy analizator drgań KSD-400 (rys.4.1), który jest uniwersalnym układem pomiarowo-przetwarzającym i wnioskującym o stanach niezdatności maszyny na podstawie analizy sygnałów diagnostycznych: drgań, ciśnienia, temperatury i prędkości obrotowej itd.

Zmierzone parametry sygnału są przetwarzane przez multipleksowaną szesnastowieściową kartę przetwornika analogowo – cyfrowego i przekazywane do mikroprocesora notebooka, gdzie na podstawie odpowiedniego oprogramowania są przetwarzane.

Rys. 4.1. Komputerowy analizator diagnostyczny KSD-400

- 1 – walizka, 2 – notebook, 3 – czujniki indukcyjne drgań - 2szt., 4 – czujnik "foto",
5 – czujnik piezoelektryczny, 6 – przewody do czujników indukcyjnych,
7 – czujniki wiropądowe z przewodami

Identyfikacja stanów niezdatności na podstawie badań eksploatacyjnych pozwoliła na wyznaczenie ich liczebności występowania, które zostały wykorzystane do obliczenia P_{Bi} .

W celu wyznaczenia stopni pewności CF_{Ei} przeprowadzono wywiady ekspertowe z pracownikami działu utrzymania maszyn w Cukrowni Głinojeck. Wykorzystano wywiad kwestionariuszowy jawny [3], w którym zawarto ustaloną listę stanów niezdatności. Eksperti przypisywali częstość występowania stanów na podstawie własnych doświadczeń. Do opisu tej częstości posłużono się skalą punktową od 1 do 10, gdzie 1 oznaczała niską pewność pojawienia się stanu, a 10 wysoką pewność. Dla znormalizowania wyników wyznaczono wskaźniki pewności CF_{Ei} ze wzoru:

$$CF_{Hi} = \frac{L_i}{L_c},$$

gdzie L_i – suma liczby punktów przypisanych i -temu stanowi przez wszystkich ekspertów,
 L_c – suma wszystkich punktów.

W ankiecie uwzględniono następujące stany:

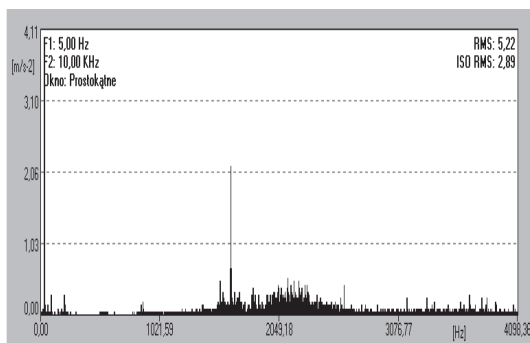
1. uszkodzenie instalacji elektrycznej sterowania silnikiem;
2. zwarcie uzwojeń wirnika lub stojanu silnika;
3. zużycie łożysk w silniku;
4. zużycie łożysk tocznych wału wirówki;

5. deformacja lub poluzowanie posadowienia wirówki;
6. deformacja wału wirówki;
7. pęknięcie wału wirówki;
8. niewyważenie techniczne układu wirnikowego;
9. oklejenie sit cukrzycą (niewyważenie technologiczne)
10. uszkodzenie dekohezyjne sit bębna wirówki;
11. luzy na sprzęgle;
12. zerwanie wkładki elastycznej sprzęgła;
13. niewyważenie wentylatora silnika.

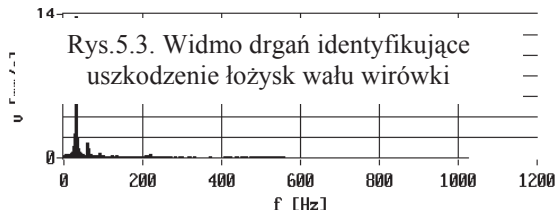
5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rys.5.1-5.4 pokazano przykładowe widma drgań uzyskane z badań własnych, na podstawie których dokonano identyfikacji stanów niezdatności na etapie prowadzonych eksperymentów diagnostycznych. Natomiast w tabeli 5.1 podano zestawienie obliczonych prawdopodobieństw wystąpienia stanów niezdatności (na podstawie danych historycznych i wyników badań eksploatacyjnych) oraz wartości stopni pewności CF_{Ei} , a także wynikowe stopnie pewności CF_i . W tabeli numery stanów odpowiadają numerom określonym w rozdziale 3.

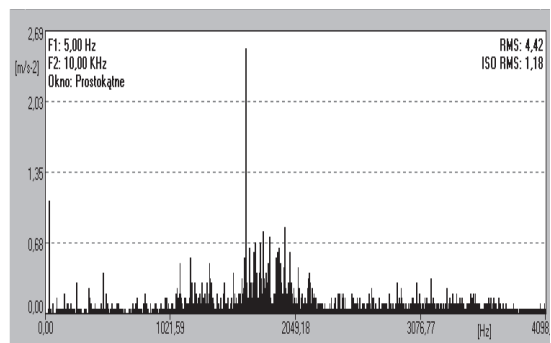
Wartości występujące w kolumnie oznaczonej CF_i są zarazem wartościami elementów wektora \overline{CF} pewności występowania stanów niezdatności, a więc jedną z miar zagrożeń wywołanych tymi stanami.



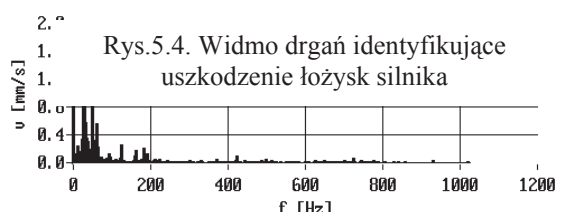
Rys.5.3. Widmo drgań identyfikujące uszkodzenie łożysk wału wirówki



Rys.5.1. Widmo drgań identyfikujące niewyważenie bębna wirówki



Rys.5.4. Widmo drgań identyfikujące uszkodzenie łożysk silnika



Rys.5.2. Widmo drgań identyfikujące uszkodzenie sprzęgła

Tab.5.1. Zestawienie prawdopodobieństw i stopni pewności wystąpienia stanów niezdatności dla wirówek ACWW1000 [badania własne]

		Prawdopodobieństwo wystąpienia niezdatności na podstawie		Stopień pewności wystąpienia niezdatności	
		danych archiwalnych P_{Hi}	badań eksperymentalnych P_{Bi}	wg wiedzy ekspertów CF_{Ei}	wynikowy CF_i
Nr stanu niezdatności S_{ji}	1.	0,0351	0,0000	0,0606	0,0319
	2.	0,1140	0,0000	0,0909	0,0683
	3.	0,1754	0,1034	0,0606	0,1131
	4.	0,2544	0,2069	0,1212	0,1942
	5.	0,0351	0,0000	0,0303	0,0218
	6.	0,0088	0,0000	0,0303	0,0130
	7.	0,0000	0,0000	0,0303	0,0101
	8.	0,2018	0,2069	0,1818	0,1968
	9.	0,0789	0,1724	0,1515	0,1343
	10.	0,0263	0,0000	0,1212	0,0492
	11.	0,0526	0,1379	0,0606	0,0837
	12.	0,0175	0,0000	0,0303	0,0159
	13.	0,0000	0,1724	0,0303	0,0676

Analizując przedstawione wyniki w tab.5.1 można wnioskować, że pod względem częstości występowania krytycznymi stanami będą: zużycia łożysk wału i silnika oraz niewyważenie układu wirnikowego zarówno techniczne jak i technologiczne. Gdyby za miarę zagrożeń wywołanych stanami niezdatności przyjąć tylko prawdopodobieństwo lub pewność ich występowania to zabrakło by uwzględnienia ewentualnych skutków wywołanych tymi stanami. Dla tego, zgodnie ze wcześniejszymi założeniami, dokonano przyporządkowania zagrożeń według przyjętej skali rang (patrz rozdział 2) analizowanym stanom niezdatności. Takie przyporządkowanie budzi jednak pewną wątpliwość: czy np.: straty ekonomiczne i zagrożenia bezpieczeństwa ludzi

można oceniać jednakowo? Aby chociaż w części wyeliminować te wątpliwości wyznaczono rangi R_w z uwzględnieniem priorytetu k skutku, przyjmując w sposób arbitralny wartości k dla poszczególnych zagrożeń. Sposób obliczenia R_w przedstawia poniższy wzór:

$$R_w = R \cdot k, \text{ gdzie:}$$

R – przyjęta ranga w skali 0-4,

k – priorytet – dla rozpatrywanego obiektu badań, wartości k zostały podane w tab.5.2.

W tab. 5.3 przedstawiono przyjęte wartości rang R oraz obliczone wartości rang R_w z uwzględnieniem priorytetów.

Tab.5.2. Priorytety rang zagrożeń

Rodzaj zagrożenia	utrata zdatości maszyny do spełnienia założonych funkcji	zagrożenie dla jakości produktu	zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi	zagrożenia dla innych maszyn	straty ekonomiczne
Priorytet k	0,6	0,9	1	0,7	0,8

Tab.5.3. Rangi zagrożeń [badania własne]

	utrata zdatości maszyny do spełnienia założonych funkcji		zagrożenie dla jakości produktu		zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi		zagrożenia dla innych maszyn		straty ekonomiczne	
	R	R_w	R	R_w	R	R_w	R	R_w	R	R_w
uszkodzenie instalacji elektrycznej sterowania	4	2,4	2	1,8	1	1	0	0	3	2,4

silnikiem										
zwarcie uzwojeń wirnika lub stojanu silnika	3	1,8	2	1,8	1	1	0	0	3	2,4
zużycie łożysk w silniku	2	1,2	1	0,9	0	0	0	0	2	1,6
zużycie łożysk tocznych wału wirówki	2	1,2	3	2,7	2	2	0	0	3	2,4
deformacja lub poluzowanie posadowienia wirówki	2	1,2	2	1,8	3	3	2	1,4	1	0,8
deformacja wału wirówki	1	0,6	1	0,9	3	3	1	0,7	4	3,2
pęknięcie wału	1	0,6	3	2,7	3	3	1	0,7	4	3,2
niewyważenie techniczne układu wirnikowego	1	0,6	0	0	2	2	1	0,7	1	0,8
oklejenie sit cukrzycą (niewyważenie technologiczne)	1	0,6	3	2,7	2	2	1	0,7	2	1,6
uszkodzenie dekohezyjne sit	4	2,4	4	3,6	3	3	1	0,7	4	3,2
luzy na sprzęgle;	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1,6
zerwanie wkładki elastycznej sprzęgła	4	2,4	2	1,8	1	1	0	0	3	2,4
niewyważenie wentylatora silnika	2	1,2	0	0	1	1	0	0	1	0,8

Kolumny w tab.5.3 oznaczone przez R_w tworzą macierz rang R_w o wymiarach $i \times j$, gdzie i - numer stanu niezdatności, a j - numer kryterium zagrożenia. Dalszym krokiem w proponowanej metodzie identyfikacji krytycznych stanów niezdatności jest połączenie pewności wystąpienia stanów i wyznaczonych rang. Do tego celu posłużono się iloczynem macierzy R_w i wektora \overline{CF} , co daje wynik w postaci macierzy wskaźników zagrożeń \overline{WK} :

$\overline{WK} = R_w \times \overline{CF}$, $v_{i,j}$ – elementy macierzy \overline{WK} .

W tabeli 5.4 przedstawiono wyznaczoną macierz \overline{WK} . Wartości elementów tej macierzy pozwalają już na dokonanie analizy zagrożeń wywołanych rozpatrywanymi stanami, ale analiza ta jest utrudniona ze względu na dużą ich ilość, dla tego

wyznaczono wektor wskaźników skumulowanych \overline{W} zgodnie ze wzorem:

$$w_i \in \overline{W}, \quad w_i = \sum_{j=1}^J v_{i,j}$$

Wartości elementów wektora \overline{W} przedstawiono w tab.5.5.

Tab.5.4. Macierz \overline{WK} wskaźników zagrożeń $v_{i,j}$

	utrata funkcji pierwotnych maszyny	zagrożenie dla bezpieczeństwa i jakości produktu	zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi	zagrożenia dla innych maszyn	straty ekonomiczne
uszkodzenie instalacji elektrycznej sterowania silnikiem	0,0766	0,0574	0,0319	0,0000	0,0766
zwarcie uzwojeń wirnika lub stojanu silnika	0,1229	0,1229	0,0683	0,0000	0,1639
zużycie łożysk w silniku	0,1358	0,1018	0,0000	0,0000	0,1810
zużycie łożysk tocznych wału wirówki	0,2330	0,5243	0,3883	0,0000	0,4660
deformacja lub poluzowanie posadowienia wirówki	0,0262	0,0392	0,0654	0,0305	0,0174
deformacja wału wirówki	0,0078	0,0117	0,0391	0,0091	0,0417
pęknięcie wału	0,0061	0,0273	0,0303	0,0071	0,0323
niewyważenie techniczne układu wirnikowego	0,1181	0,0000	0,3937	0,1378	0,1575

oklejenie sit cukrzycą (niewyważenie technologiczne)	0,0806	0,3625	0,2685	0,0940	0,2148
uszkodzenie dekohezyjne sit	0,1180	0,1770	0,1475	0,0344	0,1573
luzy na sprzęgle;	0,0000	0,0000	0,0837	0,0000	0,1339
zerwanie wkładki elastycznej sprzęgła	0,0382	0,0287	0,0159	0,0000	0,0382
niewyważenie wentylatora silnika	0,0811	0,0000	0,0676	0,0000	0,0541

Tab.5.5. Wartości skumulowanych wskaźników zagrożeń w_i

Nr stanu niezdatności i	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
w_i	0,2425	0,4781	0,4186	1,6116	0,1788	0,1095	0,1030	0,8070	1,0205	0,6343	0,2176	0,1211	0,2027

Analiza wyznaczonych wartości wskaźników zagrożeń w_i , jak i wybór na ich podstawie stanów krytycznych stają się stosunkowo proste. Można wyróżnić grupę niezdatności, dla których wartości w_i są największe, a więc i zagrożenia nimi wywołane należy traktować jako znaczące - krytyczne. Dla rozpatrywanego przykładu tymi stanami niezdatności są: zużycia łożysk tocznych wału bębna oraz oklejenie sit cukrzycą (niewyważenie technologiczne). Dodatkowo należy uznać zwarcia elektryczne i zużycia łożysk silnika, niewyważenie techniczne układu wirnikowego oraz pęknięcia sit za stany niezdatności wywołujące średni stopień zagrożenia. Pewnym utrudnieniem przy klasyfikacji na grupy zagrożeń jest przyjęcie granic przedziałów wartości wskaźników w_i , dla poszczególnych grup. W przypadku wskaźników skumulowanych granice przedziałów należy dobrać na podstawie analizy logicznej rozkładu wartości tych wskaźników i przyjąć je w sposób arbitralny. Należy tutaj zauważyć, że wyznaczone wartości wskaźników skumulowanych nie mogą być porównywane dla obiektów technicznych, dla których przyjęto różną liczbę kryteriów zagrożeń, skalę rang lub różne wartości priorytetu zagrożeń.

6. PODSUMOWANIE

Zaproponowana metoda identyfikacji krytycznych stanów niezdatności jest zgodna z Polską Normą „Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń”, jednak pozwala na dokładniejszą analizę wpływu stanów niezdatności na zagrożenia, poprzez wprowadzenie liczbowych wskaźników ocenowych. Dla tej metody można przyjąć następującą procedurę postępowania:

1. Wybór stanów niezdatności do analizy.
2. Wyznaczenie prawdopodobieństwa lub pewności (prawdopodobieństwa subiektywnego) występowania stanów.
3. Wybór kryteriów zagrożeń.
4. Wyznaczenie skali rang zagrożeń.
5. Przyjęcie arbitralne wskaźnika priorytetu zagrożeń.

6. Wyznaczenie macierzy wskaźników zagrożeń.
7. Wyznaczenie wektora skumulowanych wskaźników zagrożeń.
8. Przyjęcie arbitralne granic przedziałów dla wyznaczonych wartości wskaźników skumulowanych, charakteryzujących stopień zagrożeń np.: nieistotny, mało ważny, ważny, krytyczny.

Identyfikacja krytycznych stanów niezdatności niesie ze sobą podstawowy cel – wdrożenie działań ograniczających występowanie tych stanów. Działaniami tymi na etapie eksploatacji mogą być:

- zmiany konstrukcyjne np.: zmiana sposobu chłodzenia silników wirówek
- zindywidualnych wentylatorów na system globalny – taką modernizację wprowadzono w Cukrowni Głinojeck dla wirówek typu AWO 1000,
- zastosowanie części zamiennych o podwyższonej trwałości,
- opracowanie nowych strategii przeglądów technicznych,
- wdrożenie systemów sterująco - zabezpieczających, a przede wszystkim
- opracowanie metod diagnostycznych – prognostycznych z wyznaczeniem relacji diagnostycznych dla stanów krytycznych.

LITERATURA

1. Drożyner P., Veith E.: “Risk Based Inspection Methodology Overview”. Diagnostyka 27, Olsztyn 2002.
2. IEC 812:1985. „Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)”
3. Krzykała F.: „Metodologia badań i technik badawczych w socjologii”. Wydawnictwo AE. Poznań 1986.
4. Niziński S., Michalski R. „Diagnostyka obiektów technicznych”. Wydawnictwo

- Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2002.
5. PN-IEC 812.: „Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń”. PKN 1994.
 6. Żółtowski B.: „Podstawy diagnostyki maszyn”. Wydawnictwo Uczelniane ATR. Bydgoszcz 1996.
-