Seria: Mechanika z. 52

Nr kol. 389

Roman Bąk, Tadeusz Gawryś Marek Pless Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

STATYSTYCZNA OCENA PRZECIĄŻEŃ ZESPOŁU WALCOWNICZEGO

<u>Streszczenie</u>: W artykule omówiono badania doświadczalne obciążeń losowych zespołu walcowniczego w zależności od sposobu eksploatacji i materiałów walcowanych. Zaproponowano również pewien sposób statystycznej oceny przeciążeń oparty na prognozowaniu.

1. Wstep

Bezpośrednią przyczyną podjęcia tematu były zaobserwowane przez użytkownika stosunkowo częste awarie zespołu walcowniczego, składającego się z trzech klatek walcowniczych połączonych szeregowo i napędzanych jednym silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię pasową i zębatą. Schemat kinematyczny zespołu walcowniczego przedstawia rys. 1.

Pomimo istniejących w układzie bezpieczników, w trakcie awarii zniszczeniu ulegały najczęściej łącznik 1 lub tuleja 2.

Celem badań było ustalenie głównych przyczyn, wywołujących występowanie przeciążeń. Będzie to stanowić podstawę do usunięcia przyczyn przeciążeń lub do wprowadzenia zmian konstrukcyjnych, które pozwolą na bezawaryjne przenoszenie przez zespół walcowniczy rzeczywistych obciążeń, jakim on podlega.

2. Metodyka pomiaru obciążeń maksymalnych

Ocenę obciążeń rzeczywistach układu walcowniczego zdecydowano oprzeć na jednoczesnym pomiarze mocy oraz prędkości kątowej silnika napędzającego układ. Układ napędzany jest silnikiem asynchronicznym o mocy nominalnej N = 700 kW przy liczbie obrotów n = 210 obr/min.

Do pomiaru i zapisu mocy zastosowano watomierz piszący WATTREG II. Pomiaru prędkości kątowej silnika dokonywano za pomocą tachoprądniczki prądu stałego, połączonej z rejestratorem. Przed pomiarem przeprowadzono wzorcowanie układu: tachoprądniczka - rejestrator. Dla synchronizacji odczytów mocy pobieranej przez silnik i jego prędkości kątowej, opracowano układ elektryczny oparty na zasadzie stycznika, który pozwalał na równoczesne znakowanie zapisu mocy i zapisu prędkości kątowej.

Postać zapisu mocy (rys. 2) wskazuje, że obciążenie zmienia się od stałej wartości minimalnej wywołanej oporami ruchu jałowego zespołu walcowni-

czego do chwilowych wartości maksymalnch, spowodowanych przejściami blachówek przez walce.



Rys. 2.Postać zapisu mocy

Z zapisów odczytano wartości maksymalne mocy oraz odpowiadające im liczby obrotów dla każdego przejścia blachówek przez klatki walcownicze. Na tej podstawie obliczono wartości momentu napędzającego, który determinuje obciążenie układu. Ze względu na cel pracy istotne są tylko maksymalne wartości momentów. W związku z tym ich zbiór potraktowano jako proces stochastyczny. Przyjęto, że rozpatrywany proces stachastyczny jest stacjonarny w szerszym sensie. Klerowano się przy tym przekonaniem, że obciążenia działające na zespół walcowniczy nie mogą przejawiać trwałych tendencji do monotonicznych zmian (wzrostu lub spadku) podczas normalnej eksploatacji. Założono również, że badany proces stochastyczny jest ergodyczny, tzn., że można zamiast uśredniania po zespole realizacji zastosować uśrednianie jednej realizacji po czasie.

Badano obciążenie przy walcowaniu blachówek ze stali: 40GS, StO, St3S 0H17T, N8E, 50HSA, 40HM, 55, EJ435, 50S.

3. Opracowanie wyników pomiarów obciążeń maksymalnych

Stosowany przez zakład sposób eksploatacji walcarki wyklucza jednoczes ne wykorzystanie trzech klatek walcowniczych. W oparciu o wyniki pomiaru opracowano histogramy maksymalnych obciążeń, biorąc pod uwagę wszystkie cbciążenia maksymalne:

- a) przy jednoczesnym walcowaniu na dwóch klatkach walcowniczych ¹⁰ gatunków stali (rys. 3);
- b) przy walcowaniu jedną klatką walcowniczą 10 gatunków stali (rys. 4);
- e; przy jednoczesnym walcowaniu na dwoch klatkach walcowniczych poszczegół nych gatunków stali: 40GS (rys. 5), StO (rys. 6), St3S, (rys. 7), 0H17T (rys. 8), N8E (rys. 9), 50HSA (rys. 10).



-



Rys. 3. Histogram obciążenia przy walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi (łącznie dla wszystkich gatunków stali)





4



Rys. 6. Histogram obciążenia przy walcowaniu stali StO

ih.











Rys. 10. Histogram obciążenia przy walcowaniu stali 50HSA

Nie opracowano odrębnych histogramów dla pozostałych gatunków stali (40HM, 55, EJ435, 50S), ze względu na zbyt małą liczbę pomiarów. Wyniki pomiarów, co do których nie było pewności czy należą do grupy "a" lub "b", zaliczono do grupy "b", co jest równoznaczne z przyjęciem mniej korzystnego przypadku obciążenia. W oparciu o test Kołmogorowa stwierdzono że żaden z wyróżnionych zbiorów pomiarów nie da się opisać rozkładem normalnym.

W związku z jednostronnym charakterem obciążeń, dogodnym do opisu wyników pomiarów okazał się rozkład Weibulla, którego gęstość i dystrybuanta określone są formułami:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\delta}{\Theta} (x - x_0)^{-\delta} & \exp\left[-\frac{(x - x_0)^{\delta}}{\Theta}\right] dla \quad x > x_0 \\ 0 & dla \quad x \le x_0 \end{cases}$$

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\frac{(x - x_0)^{\delta}}{\theta}\right] & dla \quad x > x_0 \\ 0 & dla \quad x \leqslant x_0 \end{cases}$$

lub wprowadzając oznaczenie θ = p

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\delta}{\mathcal{P}} \left(\frac{x - x_0}{\mathcal{P}} \right)^{\delta-1} & \exp\left[- \left(\frac{x - x_0}{\mathcal{P}} \right)^{\delta} \right] dla \quad x > x_0 \\ 0 & dla \quad x \le x_0 \end{cases}$$

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{p}\right)^{6}\right] & dla \ x > x_0 \\ 0 & dla \ x \le x_0 \end{cases}$$

gdzie

8 - parametr kształtu,

 θ - parametr skali,

x_- parametr położenia (parametr progowy rozkładu).

Oszacowanie parametrów rozkładu Weibulla przeprowadzono za pomocą metody graficznej.

Po przekształceniu równania dystrybuanty i dwukrotnym zlogarytmowaniu otrzymuje się

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(x)} = \ln (x - x_0) - \ln \theta_1$$

Wprowadzając oznaczenia

$$u = \ln (x - x_0)$$
$$v = \ln \ln \frac{1}{1 - F(x)}$$

otrzymuje się:

 $v = \delta u - \ln \Theta$

W układzie współrzędnych prostokątnych równanie to przedstawia linię prostą.Taki układ współrzędnych tworzy zatem siatkę funkcyjną (rys.11) układu Weibulla, ponieważ dystrybuanta ma postać linii prostej. Z równania tej prostej można wyznaczyć graficznie parametr δ oraz parametr Θ . Ponieważ przy jednostkowym przyroście zmiennej niezależnej u zachodzi równość $\delta = -v$, siatkę funkcyjną rozkładu Weibulla można uzupełnić nomogramami, pozwalającymi na obliczenie poszukiwanych oszacowań wartości przeciętnej μ oraz odchylenia średniego \Im zmiennej losowej x.

Sposób postępowania przy graficznej metodzie oszacowania wartości parametrów rozkładu Weibulla można ująć w następujących punktach:

- Ustalenie jednostek i zakresu zmienności zmiennej niezależnej x w celu dobrania odpowiedniej skali na osi odciętych.
- 2) Oznaczenie w siatce funkcyjnej punktowych wartości dystrybuanty F(x), obliczonych na podstawie wyników pomiarów, poprowadzenie między punktami najlepiej odpowiadającej im krzywej i wyznaczenie wartości x_0 dla $F^*(x) \leq 0.1\%$.
- 3) Zmieniając skalę osi odciętych oznaczenie w siatce funkcyjnej punktowych wartości dystrybuanty $F^*(x - x_0)$; poprawadzenie między punktami najlepiej odpowiadającej im prostej.
- 4) Wykreślenie z punktu (1,0) pomocniczej prostej, równoległej do prostej doświadczalnej; rzutowanie punktów przecięcia się pomocniczej prostej z osi pionową u = 0 na prawą skalę osi rzędnych i odczytanie wartości oszacowania parametru δ^* .
- 5) Rzutowanie punktu przecięcia się prostej doświadczalnej z osią poziomą v = 0 na dolną skalę osi odciętych i odczytanie wartości v_{1}^{*} .
- 6) Odczytanie dla danego δ^* wartości ilorazów μ^* / p_0^* oraz δ^* / p_0^* i obliczenia $\mu^* i \delta^*$.
- 7) Obliczenie wartości $p^*i \mu^4$ dla danego x.



Rys. 11. Graficzna ocena wartosci parametrów rozkładu Weibulla dla walcowania dwoma klatkami

Dla przykładu przytacza się określenie parametrów rozkładu Weibulla dla zbioru pomiarów dotyczących jednoczesnego walcowania dwoma klatkami walcowniczymi.

W tablicy 1 zestawiono wartości zmiennej niezależnej x oraz obliczono wartości dystrybuanty $F^*(x)$ przy jednoczesnym walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi, a na rys. 11 przedstawionc graficzną metodę oszacowania wartości parametrów rozkładu Weibulla.

Tablica 1

Lp.	Przedział wartości momentu	Srednia wartość przedz. x	Często- tliwość m	Często- tliw. wzgl. ^m n	Częstość $\omega = \frac{m}{\sum_{m}}$	Częstość względna (Dystry- buanta) $F^{*}(x) = \sum^{n}$	x - x _o *
1.	2700 - 3099	2900	27	27	0.0197	0.0198	400
2.	3100 - 3499	3300	135	161	0,0990	0,1188	800
3.	3500 - 3899	3700	287	449	0,2120	0,3308	1200
4.	3900 - 3299	4100	340	789	0,2490	0,5798	16 0 0
5.	4300 - 4699	4500	286	1075	0,2100	0,7898	2000
6.	4700 - 5099	4900	202	1277	0,1479	0,9377	2400
7.	5100 - 5499	5300	71	1348	0,0521	0,9898	2800
8.	5500 - 5899	5700	12	1360	0,0088	0,9986	3200
9.	5900 - 6299	6100	2	1362	0,0014	1,0000	3600

Wyznaczone wartości parametrów rozkładu Weibulla przy walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi dla wszystkich gatunków stali

Parametry rozkładu Weibulla wyznaczone wykreślnie:

$$x_{0}^{*} = 2500 \qquad \delta^{*} = 2,8$$

$$\frac{\mu^{*}}{\rho_{0}^{*}} = 0,8905 \qquad \rho_{0}^{*} = 1600 \qquad \mu^{*} = 3920$$

$$\frac{\sigma^{*}}{\rho_{0}^{*}} = 0,34 \qquad \rho^{*} = \rho_{0}^{*} + x_{0}^{*} = 4100 \quad \sigma^{*} = 545$$

Na rysunku 12 przedstawiono teoretyczny wykres funkcji gęstości obciążeń dla uzyskanych parametrów rozkładu przy jednoczesnym walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi. Parametry rozkładu Weibulla dla poszczególnych zbiorów pomiarów podano w tablicy 2.





Tablica 2

Lp.	Gatunki stali	Licz- ba kla- tek	Liczba pomia- rów n	x*	ê*	Ð,	μ*	õ*
		-	4760	0500		44.00	7000	545
1.	wazyatkie (10)	2	1562	2500	2,8	4100	5920	242
2.	wszystkie (10)	1	1587	1550	2,4	2700	2669	438
3.	40GS	2	427	3000	4,0	4400	4267	456
4.	StO	2	120	2600	2,7	3800	3665	420
5.	St3S	2	124	2500	2,4	4600	4360	830
6.	OH17T	2	236	2700	2,8	3620	3319	316
7,	NSE	2	279	2700	2,8	4700	4480	680
8.	SOHSA	2	74	2600	3,0	4600	4380	649

Parametry rozkładu Weibulla

4. Statystyczna ocena przeciążeń

Ocenę przeciążeń przeprowadzono w stosunku do momentu nominalnego oraz momentu krytycznego. Moment nominalny M_n silnika przy mocy N=700 kW oraz liczbie obrotów n = 210 obr/min wynosi 3250 kGm. Moment krytyczny M_k silnika przy założonym współczynniku dynamicznym równym 2 oraz spadku napięcia równym 10% wynosi 5265 kGm.

Rozwiązano zadanie o przewyższeniu M_n , 150% M_n , 200% M_n oraz M_k , których wyniki zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Wyznaczenie prawdopodobieństwa przewyższenia M_n, 150% M_n, 200% M_n, M_k

Lp.	Cotumbe atold	Liczba klatek	Prawdopodobieństwo przewyższenia				
	GAULINKI SUALI		Mn	150% M _n	200% M _n	Mk	
1.	wszystkie (10)	2	0,898	0,048	0,000	0,012	
2.	wszystkie (10)	1	0,292	0,000	0,000	0,000	
3.	40GS	2	0,999	-0,057	0,000	0,001	
4.	StO	2	0,819	0,035	0,000	0,001	
5.	St3S	2	0,922	0,280	0,009	0,153	
6.	OH17T	2	0,787	0,000	0,000	0,000	
7.	NSE	2	0,970	0,271	0,002	0,124	
8.	50HSA	2	0,961	0,250	0,000	0,090	

Przy biegu jałowym silnik jest obciążony stałym momentem, wynoszącym przeciętnie 1420 kGm, co stanowi 43,7% momentu nominalnego.

Określono prognozy wystąpienia maksymalnych przeciążeń uznając za praktycznie niemożliwe pojawienie się obciążeń, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest mniejsze od 5%. Posłużono się w tym celu ustalonymi wcześniej dystrybuantami momentów maksymalnych odczytując z tablic rozkładu Weibulla iloraz x/p dla prawdopodobieństwa równego 5%. Na tej podstawie wyznaczono wartości $M_{0.05}$, które podano w tablicy 4.

Tablica 4

	<u> </u>
1. wszystkie (10) 2 4880 1,50 0,93 2. wszystkie (10) 1 3370 1,04 0,64 3. 40GS 2 4830 1,49 0,92 4. St0 2 4400 1,36 0,84 5. St3S 2 5830 1,79 1,11 6. OH17T 2 4060 1,25 0,78 7. NBE 2 5660 1,74 1,09 8. SOHSA 2 5440 1,68 1,04	5 - - - -

Prognozy wystąpienia maksymalnych przeciążeń

5. Wnioski

1. Zastosowana metodyka badań ma znaczenie ogólne i zawiera bardziej racjonalny sposób oceny obciążeń maksymalnych oparty na prognozowaniu; pozwala to w przeciwieństwie do metod dotychczasowych na ujawnianie obciążeń maksymalnych, nie stwierdzonych w trakcie pomiarów.

2. Potwierdzono szczególną przydatność rozkładu Weibulla do analizy obciążeń losowych, również w przypadku układu walcowniczego.

3. Prawdopodobieństwo przewyższenia mementu nominalnego Mn przy jednoczesnym walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi jest ok. 3 razy większe (3:08) od prawdopodobieństwa przewyższenia momentu nominalnego przy walcowaniu jedną klatką.

4. Prawdopodobieństwo przewyższenia momentu krytycznego M_k przy walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi wynosi 1,2%, natomiast przy walcowaniu jedną klatką 0%. Oznacza to, że walcowanie jedną klatką nie stwarza niebezpieczeństwa przeciążenia silnika, co potwierdza również prognoza wystąpienia przeciążeń maksymalnych. 5. Prawdopodobieństwa przewyższenia momentu krytycznego M_k przy walcowaniu dwoma klatkami walcowniczymi stali St3S, N8E i 50HSA wynoszą odpowiednio 15,3%, 12,4% oraz 9%, natomiast dla pozostałych gatunków stali nie przekraczają 0,1%. Wynika z tego, iż walcowanie stali St3S, N8E lub 50HSA wywołało przeciążenie układu walcowniczego spowodowane niewłaściwą temperaturą nagrzania blachówek, zbyt dużymi gniotami lub dużym oporem odkształcenia plastycznego danego gatunku stali.

. 6. Z prognozy maksymalnych przeciążeń wynika, że przy walcowaniu stali St3S, N8E, 50HSA maksymalny moment może przekroczyć wartość momentu krytycznego odpowiednio o 11%, 8%, i 4%, co oznacza niedopuszczalne chwilowe przeciążenie dynamiczne silnika.

7. Prognoza przeciążenia maksymalnego daje wyższą wartość momentu w przypadku walcowania stali St3S, N8E i 50HSA niż w przypadku walcowania pozostałych gatunków stali. Oznacza to, że obciążenia spowodowane walcowaniem stali St3S, N8E i 50HSA dominują nad pozostałymi.

8. Ze względu na to, że moc biegu jałowego wynosi aż 43,7% mocy nominalnej silnika, należy rozważyć możliwości techniczne zmniejszenia oporów ruchu zespołu walcowniczego.

LITERATURA

- K. Grzesiak, J. Kołodziejczyk, Z. Netzel: Badania trwałościowe obiektów technicznych, WNT, Warszawa 1968.
- A.A. Swiesznikow: Podstawowe metody funkcji losowych, PWN, Warszawa 1965.
- 3. A.M. Dlin: Matematičeskaja statistika w technike, Moskva 1958.
- 4. Praca zbiorowa: Hutnicze napędy elektryczne, WGH, Katowice 1959.

CTATECTESECKAN CHENKA HEPETPYSOK HPOKATHOFO CTANA

Резрые

З статье описываются экспериментальные исследования случайных нагрузок прокатного стана в зависимости от его эксплуатации и прокатываемого материала. Предлагается также некоторый способ статистической оценки перегрузок опирающийся на прогнозированим.

20.

Statystyczna ocena przeciążeń

A STATISTIC ESTIMATION OF THE MILL-SET OVERLOADINGS

Summary

In this paper are presented results of measuring random loading of the mill - set depending upon mode of exploitation and milled material. There are proposed some methods of estimation of mill-set overloadings, based on statistical anticipation.