ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: GÓRNICTWO z. 113 Nr kol. 698

Jacek M. CZAPLICKI

BADANIE ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY NIEKTÓRYMI WSKAŹNIKAMI NIEZAWODNOŚCI, EKSPLOATACJI I PARAMETRAMI TECHNICZNYMI GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. W pracy dokonano analizy korelacyjnej i niezależności pomiędzy wybranymi wskaźnikami niezawodności, eksploatacji i parametrami technicznymi górniczych maszyn wyciągowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano szereg praktycznych wniosków.

1. Wstęp

Ogromne zadania wydobywcze jakie stoją przed polskim górnictwem, zwłaszcza węglowym, stwarzają konieczność z jednej strony do opracowania optymalnych strategii eksploatacji wielkich górniczych systemów maszynowych: urabiająco-transportująco-przeróbczych, w których ludzie stanowią istotne i integralne ich ogniwo, z drugiej do wnikliwych analiz obsługiwania i użytkowania poszczególnych maszyn czy nawet ich podzespołów.

Jednym z ogromnie ważnych ogniw transportu kopalń głębinowych jest górnicza maszyna wyciągowa (GMW). W znakomitej większości przypadków od jej poprawności działania zależy efekt techniczno-ekonomiczny kopalni, jak i zdrowie i życie załogi dołowej. Stąd wypływa baczna uwaga jaką poświęca się procesowi jej eksploatacji, jak też znaczne wymagania co do bezpiecznej i niezawodnej jej pracy.

Każda maszyna wyciągowa, z chwilą zainstalowania jej na zrębie szybu czy na wieży i rozpoczęcia wydobycia, podlega procesowi eksploatacji, tzn. określonemu procesowi zmian jej własności. Zachodzące zmiany są uwarunkowane, tak jak każdego obiektu technicznego, trzema czynnikami:

- sposobem eksploatacji, tzn. polityką użytkowania i polityką obsługiwania,
- warunkami eksploatacji (bliskie otoczenie fizyczne obiektu),
- cechami własnymi maszyny określonymi przez jej parametry techniczne.

Polityka użytkowania GMW jest określonym programem użytkowania, polegającym na wyborze terminów rozpoczęcia i zakończenia użytkowania, czasów jego trwania i intensywności użytkowania. Podobnie, polityka obsługiwania jest określonym programem obsługiwania, polegającym na wyborze terminów rozpoczęcia i zakończenia obsługiwania, czasów jego trwania oraz inten-

sywności obsługi. Z uwagi na to, iż sterowanie procesem eksploatacji GMW, w ramach sterowania eksploatacją jej nadsystem urządzenia wyciągowego, jest dynamiczne - dlatego podejmowane decyzje dotyczące użytkowania i obsługiwania GMW (oprócz ogólnych wytycznych) jest również dynamiczne o różnym horyzoncie wyprzedzenia czasowego [2].

Proces eksploatacji poszczególnych maszyn wyciągowych zgodnie z zamierzeniami projektantów i konstruktorów, powinien przebiegać podobnie z racji jednakowych ogólnych wytycznych dotyczących ich użytkowania i obsługiwania, podobnych często warunków eksploatacji, jak i tak dobranych (przez konstruktorów) parametrów technicznych maszyn, by ronowazyły rózne intensywności ich użytkowania. Jednakże tak nie jest. Różnice pomiędzy rzeczywistymi, realizowanymi przez eksploatatora politykami eksploatacji maszyn, różnice pomiędzy odmiennymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi poszczególnych zespołów - wszystko to może wpłynąć na przebiegający w czasie proces zmian własności maszyn tak znacznie, iż poszczególne realizacje procesów eksploatacji mogą różnić się w sposób istotny pomiędzy sobą. Z punktu widzenia opracowania optymalnych polityk eksploatacji maszyn jest to zjawisko niekorzystne. Istnieje jednakże przy występujących istotnych różnicach w realizacjach procesów zmian własności, możliwość uchwycenia prawidłowości występujących pomiędzy wskaźnikami niezawodności, eksploatacji i parametrami technicznymi górniczych maszyn wyciągowych. Stwierdzenie istnienia takich prawidłowości, ich wykrycie i sformułowanie pozwala na znaczne wzbogacenie zasobu informacji stanowiących podstawę wyboru racjonalnej strategii ich eksploatacji.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza korelacyjna i niezależności wskaźników niezawodności, eksploatacji i parametrów technicznych GMW na podstawie danych zaczerpniętych z badań [1]. Dokonana analiza pozwala na wysunięcie szeregu praktycznych wniosków.

2. Informacja o empirycznych badaniach procesu eksploatacji GMW

Badaniu poddano 67 maszyn wyciągowych górnictwa węglowego i rud miedzi, pracujących w 36 kopalniach i zakładach górniczych.

Informacje o parametrach technicznych, eksploatacyjnych oraz dane o realizacji procesu eksploatacji zbierane były na podstawie wypisów z Ksiąg Koncesyjnych Urządzeń Wyciągowych, Ksiąg Raportowych, informacji ustnej dozoru technicznego, wypisów z Ksiąg Awarii Urządzeń Wyciągowych prowadzonych przez Wyższy Urząd Górniczy oraz bezpośredniej obserwacji.

Plan badania dla każdej maszyny był postaci [1,W,r], przy czym jako minimalną liczbę stanu naprawy (awarii) przyjęto $r_{min} = 10$.

Czas badania - określony od dołu minimalną liczbą napraw, od góry możliwościami badawczymi - wahał się od 10 miesięcy do kilku lat. Dane o eksploatacji 28 maszyn uznano za niezadawalające, w związku z czym liczba badanych maszyn ograniczona została do 39.

Notowano między innymi:

- podstawowe parametry techniczne maszyny i urządzenia wyciągowego: typ maszyny, rodzaj naczynia F (skip, skipoklatka S, klatka K), rodzaj zasilania silników głównych C (przekształtniki tyrystorowe T, przetwornice P, silniki asynchroniczne A), głębokość ciągnienia H, udźwig U, prędkość jazdy V; tablica 1,

Tablica 1

Informacja o badanych maszynach wyciągowych

Numer maszyny	Typ maszyny	Rodzaj maszyny F	Typ napędu C	Głębokość ciągnienia H	Udźwig U	Prędkość jazdy V	Data oddania do eksploatacji t_e
				m	kN	m/s	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4L-4250/2x1900	S	T	840	196,2	16	06.75
2	2L-6000/1600	K	P	765	98,1	14	05.74
3	4L-1250/2x2400	K	P	750	98,1	16	09.69
4	4L-4250/2x2400	S	P	750	215,8	16	09.71
5	4L-4250/2x2400	S	P	750	196,2	20	12.75
6	K-6500/2400	S	P	668	127,5	15	12.74
7	4L-4000/3000	S	P	433	147,1	16	11.72
8	4L-4000/3000	S	P	433	147,1	16	08.68
9	4L-3400/2400	S	P	615	176,5	16	07.67
10	K-6500/2400	S	P	680	132,4	16	11.71
11	K-6000/1600	S	P	206	58,8	10	05.73
12	2L-5000/2000	K	P	580	98,1	12	08.75
13	4L-5000/2x2900	S	T	733	245,2	16	12.74
14	K-6000/1600	K	P	705	98,1	14	05.74
15	2L-5000/2000	K	P	705	98,1	12	12.74
16	4L-4000/2900	S	T	1004	147,1	16	09.74
17	4L-4000/2900	S	T	950	147,1	16	10.75
18	K-5000/1100	K	P	500	73,5	12	05.75
19	4L-4000/3000	S	P	765	176,5	16	10.70
20	4L-4000/3000	S	P	560	176,5	16	10.67
21	K-6000/1000	K	A	791	68,6	12	12.68
22	4L-4000/3000	S	T	890	176,5	16	02.71
23	K-6000/1000	K	A	831	68,6	12	07.68
24	K-6000/1000	K	A	834	68,6	12	11,69
25	4L-4000/3000	S	P	277	147,1	12	03.74
26	4L-3400/2400	S	P	943	122,6	16	05.74

cd. tablicy 1

1	2	3	4	5	6	7	8
27	4L-3400/2400	S	P	791	122,6	16	05.70
28	K-6500/2400	S	P	447	112,8	15	09.65
29	2L-5000/1100	K	P	476	98,1	12	03.70
30	4L-5500/2x3600	S	T	684	294,3	16	05.76
31	K-6000/1600	S	P	470	80,9	14	02.63
32	4L-3400/2400	K	P	610	98,1	16,8	09.69
33	4L-3400/2400	K	P	410	98,1	12,8	11.72
34	4L-5000/2x2900	S	T	640	245,2	20	01.77
35	4L-3400/2400	K	P	640	117,7	16	07.76
36	4L-3200/2x650	K	A	800	58,8	15	02.72
37	K-6500/2400	K	P	600	98,1	15	11.75
38	K-5000/1450	S	P	368	71,1	13	12.74
39	K-6000/2400	S	P	482	122,6	16	10.76

- dane o procesie eksploatacji: data oddania maszyny wyciągowej do eksploatacji t_e, czas dyspozycyjny T_d, momenty wystąpienia napraw i charakterystyki napraw (przyczyny, co trzeba było naprawić, jak naprawiano, czas trwania t_o), dane o postojach niewłasnych maszyny w czasie dyspozycyjnym,
- ewentualne zmiany parametrów technicznych maszyny, urządzenia wyciągowego lub czasu dyspozycyjnego.

Zaobserwowano w sumie 958 uszkodzeń. Łączny czas pracy maszyn wyniósł około 370 tysięcy godzin.

3. Analiza korelacyjna i niezależności wskaźników niezawodności eksploatacji i parametrów technicznych GMW

W wyniku przeprowadzonego badania procesu eksploatacji górniczych maszyn wyciągowych otrzymano dość bogaty materiał informacyjny o charakterze statystycznym, który stanowił podstawę najpierw do opracowania, następnie do analizy - wreszcie do syntezy; sformułowania wniosków, konkluzji, sprecyzowania zaleceń i wytycznych zarówno dla projektantów i konstruktorów, producenta, jak i eksploatatorów.

Jako podstawowe wskaźniki niezawodności GMW (por. [5]) wyznaczono:

- średni czas trwania stanu pracy pomiędzy naprawami T_p,
- średni czas trwania stanu naprawy T_o,
- wskaźnik awaryjności $\varkappa = T_o : T_p$.

Jako mierniki realizacji polityki eksploatacji GMW uznano:

- średni czas trwania postoju koncesyjnego pomiędzy naprawami z_k,

- średni czas postoju niewłasnego GMW w czasie dyspozycyjnym, pomiędzy naprawami z_o,
- wartość średnią miernika wykorzystania maszyny w czasie dyspozycyjnym m [4].

Wartości jakie przybrały powyższe wskaźniki niezawodności i mierniki realizacji polityk eksploatacji GMW zamieszczone są w tablicy 2.

Tablica 2

Wartości podstawowych wskaźników niezawodności i mierników realizacji polityk eksploatacji GMW

Numer maszyny	T_p	T_o	$\varkappa$ 10^{-3}	z_k	z_o	m
	h	h		h	h	
1	2	3	4	5	6	7
1	176,57	0,86	4,86	72,35	115,35	0,606
2	454,30	1,26	2,64	233,83	113,57	0,798
3	233,55	0,48	1,93	249,63	126,08	0,650
4	114,50	0,69	5,89	73,92	48,13	0,700
5	151,15	1,09	7,04	64,29	38,40	0,801
6	509,93	1,23	2,17	168,54	207,29	0,711
7	523,70	1,29	2,34	196,39	327,31	0,615
8	578,93	1,94	3,28	208,69	325,41	0,640
9	403,80	0,63	1,38	239,37	106,15	0,792
10	632,69	0,84	1,28	277,43	199,59	0,760
11	313,95	1,06	3,29	196,71	55,87	0,850
12	599,55	0,93	1,46	311,45	334,81	0,641
13	329,18	2,11	5,96	151,93	126,61	0,722
14	647,17	1,53	2,22	300,47	161,79	0,800
15	404,90	0,85	1,98	200,78	197,43	0,672
17	63,50	0,87	13,23	51,81	58,20	0,522
18	197,87	1,02	5,07	44,83	26,13	0,833
19	487	1,12	2,12	243,52	146,17	0,770
20	478,35	1,43	2,75	241,89	150,58	0,761
21	376,90	1,18	2,96	37,29	33,25	0,919
22	417,13	1,09	2,38	41,37	37,92	0,916
23	551,93	2,36	4,10	56,27	67,06	0,892
24	365,66	0,82	2,19	38,73	60,35	0,858
25	287,20	1,23	3,96	234,85	182,50	0,612
26	630,27	1,60	2,41	269,47	178,15	0,780
27	536,42	1,44	2,59	206,32	82,53	0,867
28	654,51	1,29	1,82	272,72	163,63	0,802
29	506	1,26	2,35	185,88	51,63	0,907
30	224,50	0,80	3,14	155,90	87,41	0,720
31	523,01	1,06	1,94	234,74	175,20	0,749
32	348,58	0,93	2,47	137,90	65,12	0,843
33	332,78	0,55	1,52	125,58	43,95	0,883
34	206,31	0,66	2,77	124,01	75,53	0,732
35	387,53	1,12	2,65	117,08	57,37	0,871
36	244,17	1,11	3,99	90,71	27,97	0,897
37	479,30	0,86	1,70	354,56	111,62	0,810
38	529,62	1,71	3,10	267,48	58,85	0,900

Uwaga. Z analizy wyłączono maszyny nr 16 i 39 z uwagi na niestacjonarny przebieg procesu zmiany stanów.

Jako narzędzia analizy korelacyjnej posłużyły:

- współczynnik korelacji liniowej i cząstkowej R [7],
- współczynnik korelacji krzywoliniowej η [6],
- statystyka χ^2 do badania niezależności zmiennych [7],
- współczynnik korelacji rangowej Spearmana r [7].

Wyniki analizy korelacyjnej i niezależności przedstawione są w tablicy 3.

Tablica 3

Wartości współczynników korelacji pomiędzy wskaźnikami niezawodności, eksploatacji i parametrami technicznymi GMW

Współczynnik korelacji liniowej R	Współczynnik korelacji krzywoliniowej η	R_{kryt} $H_0: \rho = 0$	Współczynnik korelacji częstk. R, rang. r	r_{kryt} R_{kryt} $H_0: \rho = 0$
$R_{T_pT_o}$ = 0,486	η_{T_p/T_o} = 0,502		$R_{T_pH \cdot T_o}$ = -0,213	
	η_{T_o/T_p} = 0,458		$R_{T_pZ_k \cdot Z_o}$ = 0,457	
R_{T_pH} = -0,183	η_{W/T_p} = 0,329		$R_{T_pZ_o \cdot Z_k}$ = 0,302	
R_{HT_o} = 0,007	η_{H/T_p} = 0,083		$R_{T_pH \cdot Z_k}$ = 0,071	
$R_{Z_kT_p}$ = 0,629	η_{Z_k/T_p} = 0,738		$R_{T_pZ_k \cdot H}$ = 0,764	
$R_{Z\ T_p}$ = 0,553	$\eta_{Z\ /T_p}$ = 0,487	H_1 : sgn ρ 0,274 0,324 H_1 : $\rho \neq 0$	$R_{T_pm \cdot Z_k}$ = 0,425	H_1 : sgn ρ 0,278 0,329 H_1 $\rho \neq 0$
$R_{Z_kZ_o}$ = 0,573	η_{Z_k/Z_o} = 0,413		$r_{T_pt_e}$ = -0,436	
R_{HZ_k} = -0,372	η_{H/Z_k} = 0,325		$r_{T_ot_e}$ = -0,181	
R_{T_pm} = 0,215	$\eta_{T_p/m}$ = 0,123		r_{T_pF} = 0,070	
	η_{m/T_p} = 0,344		r_{T_pC} = 0,515	
R_{Z_km} = -0,175	$\eta_{Z_k/m}$ = 0,202		r_{T_oF} = 0,231	
$R_{u\varkappa}$ = 0,104	$\eta_{u/\varkappa}$ = 0,397		r_{T_oC} = 0,334	H_1 : sgn ρ 0,274 0,327 H_1 : $\rho \neq 0$
$R_{v\varkappa}$ = 0,201	$\eta_{v/\varkappa}$ = 0,273		$r_{\varkappa t_e}$ = 0,311	

Analizując dane zawarte w tablicy 3 warto zauważyć, iż:

- średnie czasy trwania stanów pracy pomiędzy naprawami i napraw są istotnie dodatnio skorelowane pomiędzy sobą; test niezależności χ^2 daje: $\chi^2_{T_pT_p} = 9{,}838$ wobec $\chi^2_{kryt} = 9{,}488$ dla $\alpha = 0{,}05$ [7] - a zatem są podstawy do odrzucania hipotezy o niezależności tych średnich,
- średni czas pracy pomiędzy naprawami jest istotnie dodatnio skorelowany ze średnim czasem trwania postoju kocensyjnego pomiędzy naprawami, test niezależności χ^2 daje: $\chi^2_{T_pZ_k} = 23{,}318$ wobec $\chi^2_{kryt} = 9{,}488$ dla $\alpha = 0{,}05$ [7] - a zatem są podstawy do odrzucenia hipotezy o niezależności tych średnich,
- średni czas pracy pomiędzy naprawami jest istotnie skorelowany z rodzajem zasilania GMW; test niezależności χ^2 daje: $\chi^2_{T_pC} = 9{,}723$ wobec $\chi^2_{kryt} = 9{,}488$ dla $\alpha = 0{,}05$ [7] - a zatem są podstawy do odrzucenia hipotezy o niezależności średniego czasu pracy pomiędzy naprawami od rodzaju zasilania GMW,
- średni czas pracy pomiędzy naprawami jest istotnie ujemnie skorelowany z kolejnością oddania maszyny do eksploatacji - a zatem średni czas pracy pomiędzy naprawami ma tendencję malejącą.

4. Wnioski

Przeprowadzona analizy korelacyjna i niezależność pomiędzy wybranymi wskaźnikami niezawodności, eksploatacji i prametrami technicznymi badanych maszyn wyciągowych pozwala na wysunięcie szeregu wniosków natury praktycznej, a mianowicie:

- nie wskazane jest zwiększanie wydajności dobowej urządzeń wyciągowych poprzez skracanie czasu postoju koncesyjnego; średni czas pracy pomiędzy naprawami jest bowiem istotnie dodatnio skorelowany ze średnim czasem trwania postoju koncesyjnego pomiędzy naprawami, uwagi praktyczne: wskazane jest zwiększanie stopnia wykorzystania maszyn wyciągowych (wartość przeciętna miernika wykorzystania maszyny w czasie dyspozycyjnym wynosi siedemdziesiąt kilka %). Jest to racjonalna droga do istotnego zwiększenia wydajności dobowej urządzeń wyciągowych. W przypadku czterobrygadowego systemu eksploatacji, gdzie następuje znacznie skrócenie czasu postoju koncesyjnego, niezbędna wydaje się zmiana jakościowo wykonywanej diagnostyki urządzeń wyciągowych, profilaktyki i terapeutyki,
- średni czas pracy pomiędzy naprawami maszyn wyciągowych napędzanych przekształtnikami tyrystorowymi jest przeciętnie istotnie mniejszy od średniego czasu pracy pomiędzy naprawami maszyn napędzanych i przetwornic i silnikami asynchronicznymi; rozrzut średnich czasów trwania stanu pra-

cy pomiędzy naprawami maszyn tyrystorowych jest istotnie większy od rozrzutów tych średnich dla maszyn z pozostałymi rodzajami zasilania, kierunek dalszych prac: konstrukcja bądź technologia wytwarzania maszyn wyciągowych zasilanych tyrystorowo wymaga dalszego doskonalenia,

- średni czas pracy pomiędzy naprawami maszyn wyciągowych maleje; jest to związane przede wszystkim z rozbudową części elektrycznej maszyn i wzrostem liczby jej elementów,
  kierunek dalszych prac: celowe jest rozpoczęcie prac nad zahamowaniem nadmiernego zwiększania liczby elementów oraz nad uproszczeniem istniejących układów elektrycznych.

LITERATURA

[1] Antoniak J., Brodziński S., Czaplicki J., Lutyński A.: Badania niezawodnościowe urządzeń wyciągowych z uwzględnieniem badań rozruchowych. Praca n-b (mat. nie publ.) IMG, Pol. Śl., Gliwice 1977-1979.

[2] Brodziński S., Czaplicki J.M.: Problematyka teorii eksploatacji górniczych maszyn wyciągowych. Konf. nt.: Niezawodność i trwałość maszyn i systemów maszynowych w górnictwie. ZN Pol. Śl., Górnictwo z. 93, Gliwice 1978.

[3] Czaplicki J.M.: Analiza korelacyjna niektórych własności procesu eksploatacji maszyn wyciągowych. ZN Pol. Śl., Górnictwo z. 89, Gliwice 1978.

[4] Czaplicki J.M.: Analiza wykorzystania czasu dyspozycyjnego w eksploatacji maszyn wyciągowych. Konf. Modelowanie górniczych maszyn wyciągowych. ZN Pol. Śl. Górnictwo z. 80, Gliwice 1977.

[5] Czaplicki J.M.: Model procesu odnowy o skończonym czasie odnowy górniczych maszyn wyciągowych. Konf. nt.: Niezawodność i trwałość maszyn i systemów maszynowych w górnictwie. ZN Pol. Śl., Górnictwo z.92, Gliwice 1978.

[6] Dziembała L.: Podstawy statystyki. Skrypt AE, Katowice 1978.

[7] Zieliński R.: Tablice statystyczne. PWN, Warszawa 1972.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1981 r.

Recenzent: Doc. dr Leon Dziembała

Исследование зависимости между некоторыми показателями надежности, эксплуатации и техническими параметрами горных подъемных машин

Р е з ю м е

В работе проведен корреляционный анализ и независимости между выбранными показателями надежности, эксплуатации и техническими параметрами горных подъемных машин. На основе анализа сформулирован ряд практических предложений.

Testing of dependencies between some reliability and exploitation indices and technical data of winders

S u m m a r y

In the paper there are analysed correlation and independence between the selected reliability and exploitation indices and technical data of winders. A number of practical conclusions resut ting from the analysis has also been drawn.