

Sławomir BRODZIŃSKI

BADANIA NIEKTÓRYCH MIERNIKÓW PROCESU UŻYTKOWANIA MASZYNY WYCIĄGOWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań niektórych mierników procesu użytkowania maszyny wyciągowej oraz poddano je analizie korelacyjnej.

1. Wstęp

Proces eksploatacji maszyny wyciągowej (podobnie jak i urządzenia ciągowego) scharakteryzować można szeregiem mierników, które najogólniej należą do dwóch grup, tj. mierniki dotyczące procesu użytkowania oraz mierniki procesu obsługiwanania maszyny wyciągowej.

Proces użytkowania maszyny wyciągowej najczęściej scharakteryzowany jest za pomocą miernika wykorzystania, wydajności, miernika pracy ciągnięcia kNm/dobę, wydobywania dobowego, liczby cykli oraz czasu dyspozycyjnego. Natomiast proces obsługiwanania opisywany jest zwykle czasem postoju koncesyjnego i harmonogramem zabiegów przewidzianych przepisami. Udział poszczególnych zabiegów typu profilaktycznego, terapeutycznego i diagnostycznego w czasie postoju koncesyjnego może stanowić dodatkową grupę mierników procesu obsługiwanania.

Wspomnieć należy także o miernikach ekonomicznych procesu eksploatacji maszyny wyciągowej, które nie są tematem niniejszego opracowania.

W artykule omówiono mierniki wykorzystania maszyny wyciągowej, zaprezentowano wyniki badań eksploatacyjnych miernika pracy ciągnięcia (i liczby cykli) oraz dokonano badań zależności typu korelacyjnego pomiędzy typem maszyny wyciągowej a miernikiem pracy ciągnięcia oraz pomiędzy dobową liczbą cykli i miernikiem pracy ciągnięcia a miernikiem wykorzystania maszyny wyciągowej.

2. Mierniki wykorzystania maszyny wyciągowej

Miernik wykorzystania maszyny wyciągowej określanany jest dość różnorodnie.

W pracy [2] przedstawia się go w prostej postaci:

$$\alpha = \frac{1}{nT_d} \sum_{i=1}^n t_{pi} \quad (1)$$

gdzie:

t_{pi} - rzeczywisty czas pracy w ciągu doby [h],

T_d - czas dyspozycyjny [h].

W publikacjach [1], [3] miernik wykorzystania maszyny wyciągowej określa się jako średnią arytmetyczną ilorazów różnicy rzeczywistego czasu dyspozycyjnego i czasu postoju do rzeczywistego czasu dyspozycyjnego.

$$m^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{di} - t_{zi}}{t_{di}}, \quad (2)$$

gdzie:

t_{di} - rzeczywisty czas dyspozycyjny w i -tym dniu [h], tj. różnica godzin zakończenia i rozpoczęcia pracy,

t_{zi} - czas postoju maszyny wyciągowej w i -tym dniu [h], (w czasie dyspozycyjnym).

Miernik wykorzystania przedstawić także można w postaci średniej arytmetycznej ilorazów rzeczywistego czasu pracy maszyny wyciągowej i rzeczywistego czasu dyspozycyjnego.

$$m^* = \frac{1}{3600 n} \sum_{i=1}^n \frac{J_i \cdot T_c}{t_{di}}, \quad (3)$$

gdzie:

J_i - liczba cykli (wyciągów) w i -tym dniu,

T_c - rzeczywisty czas trwania cyklu [s].

Wzór (3) wydaje się być najbardziej precyzyjny, ze względu na łatwość uzyskania danych. Uwzględnia on obok mierników eksploatacyjnych (J_i , t_{di}) także parametr techniczny, którym jest T_c - rzeczywisty czas trwania cyklu urządzenia wyciągowego (najczęściej dłuższy od danych koncesyjnych).

Przekształcając wzór (3) miernik wykorzystania przedstawić można jako średnią arytmetyczną z ilorazów rzeczywistej i maksymalnej liczby cykli:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{J_i}{J_{maxi}}, \quad (4)$$

gdzie:

$$J_{maxi} = \frac{3600 t_{di}}{T_c}.$$

W praktyce, jako że znana jest najczęściej nominalna godzinowa liczba cykli J_n (z aktu koncesyjnego) oraz dobowa rzeczywista liczba cykli J_i (z raportów kopalnianych), można posłużyć się wzorem:

$$m = \frac{1}{nJ_n} \sum_{i=1}^n \frac{J_i}{t_{di}} \quad (5)$$

3. Badanie miernika pracy ciągnięcia

3.1. Cel wprowadzenia miernika

Wydaje się, że dla opisu procesu użytkowania maszyny wyciągowej (a także urządzenia wyciągowego) dogodnym miernikiem byłby, stosowany w różnych dziedzinach transportu, miernik techniczno-eksploatacyjny, zwany pracą ciągnięcia. Ujmując w postaci iloczynu główne parametry techniczne maszyny wyciągowej (udźwig i głębokość ciągnięcia) oraz miernik użytkowania (liczbę cykli), praca ciągnięcia pozwala na proste zaprezentowanie stosunkowo bogatego zasobu informacji o użytkowaniu maszyny wyciągowej.

Obok miernika wykorzystania maszyny wyciągowej i wydajności, praca ciągnięcia jest kolejnym, istotnym miernikiem intensywności użytkowania maszyny wyciągowej.

Niektórzy autorzy [4] uważają, że wartość miernika pracy ciągnięcia stanowi podstawę zaszeregowania maszyny wyciągowej do jednej z grup maszyn o zróżnicowanym harmonogramie obsługi. Stąd, celowe wydawało się wyznaczenie na podstawie badań eksploatacyjnych wartości tego miernika.

3.2. Określenie miernika pracy ciągnięcia

Pracę ciągnięcia (dobową) maszyny wyciągowej L określa się jako iloczyn średniej dobowej liczby cykli \bar{J} , udźwigu naczynia Q [kN] i głębokości ciągnięcia H [m] maszyny wyciągowej:

$$L = \bar{J} \cdot Q \cdot H \quad [\text{Nm/dobę}], \quad (6)$$

gdzie:

$$\bar{J} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i$$

Przyjęcie za jednostkę czasu doby dla określenia miernika pracy ciągnięcia wynikało przede wszystkim z łatwości uzyskania danych eksploatacyjnych (dobowa liczba cykli urządzenia wyciągowego) z codziennych raportów kopalnianych.

3.3. Wyznaczenie miernika pracy ciągnięcia

W celu określenia wartości miernika wytypowano kilkadziesiąt maszyn wyciągowych, z których po wstępnej weryfikacji objęto badaniami 34 urządzenia wyciągowe skipowe (tabl. 1), 15 urządzeń wyciągowych klatkowych (pomocniczych) oraz 7 urządzeń wyciągowych klatkowych (wydobywczych).

Tablica 1

Lp.	Typ masz.wyc. moc	J [cykle dobę]	L [Nm] x10 ⁷	m'	Lp.	Typ masz.wyc. moc	J [cykle dobę]	L [Nm] x10 ⁷	m'
1	$\frac{K-5000}{1100}$	650	1817	-	19	$\frac{4L-3400}{2400}$	195	2316	0,78
2	$\frac{K-5000}{1450}$	600	1522	0,90	20	$\frac{4L-3400}{2400}$	426	4260	0,87
	$\frac{K-6000}{1580}$	150	1080	-	21	$\frac{4L-3250}{2600}$	505	4924	-
4	$\frac{K-6000}{1600}$	619	1300	0,67	22	$\frac{4L-3250}{2600}$	278	3253	0,80
5	$\frac{K-6000}{1600}$	359	1212	0,44	23	$\frac{4L-4000}{3000}$	550	6545	0,81
6	$\frac{K-6000}{1600}$	660	2706	-	24	$\frac{4L-4000}{3000}$	380	2280	0,64
7	$\frac{K-6000}{1600}$	505	1737	-	25	$\frac{4L-4000}{3000}$	450	3375	0,62
8	$\frac{K-6000}{1600}$	322	2318	0,61	26	$\frac{4L-4000}{3200}$	497	5467	-
9	$\frac{K-6000}{1600}$	540	2246	0,51	27	$\frac{2L-6000}{3400}$	650	6825	-
10	$\frac{K-6000}{1600}$	585	3159	0,69	28	$\frac{4L-4000}{3600}$	390	2106	-
11	$\frac{K-6000}{1920}$	450	2576	-	29	$\frac{4L-4000}{3600}$	510	1944	-
12	$\frac{K-6500}{2400}$	425	1615	0,45	30	$\frac{4L-5000}{3600}$	189	3878	0,43
13	$\frac{K-6500}{2400}$	598	2811	0,72	31	$\frac{4L-4000}{4000}$	423	4061	0,79
14	$\frac{K-7000}{2400}$	260	2210	-	32	$\frac{3L-6000}{4000}$	266	4916	0,69
15	$\frac{K-7000}{2400}$	275	2338	-	33	$\frac{4L-4250}{4800}$	370	5631	0,86
16	$\frac{K-7000}{3400}$	218	1226	-	34	$\frac{4L-4250}{4800}$	448	7460	0,79
17	$\frac{K-6000}{3320}$	450	3839	-	* Wg oznaczeń obowiązujących dla krajowych maszyn wyciągowych.				
18	$\frac{K-6000}{3600}$	150	1080	-					

Podczas badań kierowano się zasadą nieuwzględniania maszyn wyciągowych oddanych do eksploatacji w ostatnich latach.

Dane o pracy 34 urządzeń wyciągowych skipowych zebrane zostały z 20 kopalń węgla kamiennego. Badano obok maszyn wyciągowych produkcji krajowej - 19, także maszyny czechosłowackie - 6, radzieckie - 5 i niemieckie - 4. Informacje sprowadzały się do określenia średniej miesięcznej liczby cykli na dobę poszczególnych maszyn wyciągowych (tabl. 1).

Uzyskane dla urządzeń wyciągowych skipowych i klatkowych, wartości średniej dobowej liczby cykli, miernika pracy ciągnięcia i ich odchyżeń standardowych przedstawiono w tabl. 2.

Dane z 11 kopalń dotyczące 15 wyciągów klatkowych (pomocniczych) ze względu na charakter pracy wielofunkcyjnych urządzeń wyciągowych są mało precyzyjne; szczególnych trudności nastroczało obliczenie pracy ciągnięcia w przypadku ciągnięcia wielopoziomowego (brak danych).

W tabelicy 2 zamieszczono także wyniki badań 7 klatkowych urządzeń wyciągowych zebranych z 5 kopalń węgla kamiennego.

Tabela 2

Lp.	Typ urządzenia wyciągowego	\bar{J} [cykle/dobę]	S(J) [cykle/dobę]	\bar{L} [Nm/dobę] $\times 10^7$	S(L) [Nm/dobę] $\times 10^7$
1	Skipowe	427,7	159,8	3136,6	1733,1
2	Klatkowe (wydobywcze)	442,7	137,1	2268,6	1182,6
3	Klatkowe (pomocnicze)	196,0	102,6	764,7	599,2

Badania wykazały, że dla skipowych urządzeń wyciągowych (wyłącznie maszyny wyciągowe z kołem pędym) wartości dobowej pracy ciągnięcia wahały się od ok. $1100 \cdot 10^7$ do $7500 \cdot 10^7$ [Nm/dobę], a cykliczność od ok. 150 do 650 [cykle/dobę] (tabl. 1). W urządzeniach wyciągowych klatkowych (wydobywczych) wielkości te miały odpowiednio wartości $1000 \cdot 10^7 \div 3500 \cdot 10^7$ [Nm/dobę] oraz 250-650 [cykle/dobę].

W klatkowych urządzeniach wyciągowych (pomocniczych) miernik dobowej pracy ciągnięcia wahał się od $100 \cdot 10^7$ do $2000 \cdot 10^7$ [Nm/dobę], a cykliczność od 50 do 350 [cykle/dobę]. Dane o urządzeniach wyciągowych klatkowych traktować należy jako orientacyjne (omawiane trudności, mała liczność próby), stąd dalszymi badaniami objęto wyłącznie urządzenia wyciągowe skipowe.

Według badań radzieckich [4] miernik pracy ciągnięcia wynosi od $200 \cdot 10^7$ do $1600 \cdot 10^7$ [Nm/dobę], zależnie od typu nośnika liny rozpatrywanych maszyn wyciągowych. W najbardziej interesującej, z punktu widzenia porównania, grupie maszyn wyciągowych z kołem pędym wartości omawianego

miernika obejmują zakres $800 \cdot 10^7 \div 1300 \cdot 10^7$ [Nm/dobę]. Porównanie to wskazuje na blisko trzykrotnie wyższą wartość przeciętnej pracy ciągnięcia, zaobserwowanej w badanej próbce krajowych skipowych urządzeń wyciągowych.

4. Analiza korelacyjna wybranych mierników procesu użytkowania maszyn wyciągowej

4.1. Badania korelacji pomiędzy miernikami procesu użytkowania a parametrami technicznymi maszyn wyciągowych

W pierwszej kolejności zbadano korelację pomiędzy typem maszyny wyciągowej a miernikiem pracy ciągnięcia. Znaczne różnice wartości tego miernika dla zbliżonych typem maszyn nasuwały wątpliwości co do istnienia związku pomiędzy pracą ciągnięcia a typem maszyny wyciągowej (ujmującym: moc, typ nośnika lin i producenta).

Typ maszyny wyciągowej jest wielkością niemierzalną, stąd omawianą korelację badano za pomocą współczynnika korelacji rangowej Spearmana.

Weryfikowano hipotezę podstawową $H_0: \rho = 0$, która mówi, że współczynnik korelacji w populacji, z której pochodzi próbka równa się zero wobec hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$. Wartość współczynnika korelacji rangowej Spearmana z próbki $R_{MW,L} = 0,53$. $R_{kryt} = 0,28$ dla $n = 34$, $\alpha = 0,05$ [5], $R_{MW,L} > R_{kryt}$, a więc są podstawy do odrzucenia hipotezy weryfikowanej H_0 i stwierdzenia, że istnieje korelacja pomiędzy typem maszyny wyciągowej a miernikiem pracy ciągnięcia.

Moc maszyny wyciągowej stanowi jeden z wyróżników przypisania danej maszynie wyciągowej odpowiedniej rangi. Postanowiono sprawdzić, czy badane maszyny wyciągowe zostały dobrane pod względem mocy do określonych parametrów technicznych wyciągu, tj. $A = QH$ [Nm]. W tym celu badano współczynnik korelacji liniowej Pearsona.

Współczynnik korelacji liniowej z próbki $R_{N,A} = 0,66$, natomiast $R_{kryt} = 0,33$, $\nu = 32$, $\alpha = 0,05$ [5]. Stąd $R_{N,A} > R_{kryt}$, co daje podstawy do odrzucenia hipotezy podstawowej $H_0: \rho = 0$ i stwierdzenia występowania istotnie dodatniej korelacji pomiędzy mocą maszyny wyciągowej a jej parametrami technicznymi, wyrażonymi iloczynem $A = QH$ [Nm].

Z kolei zbadano korelację pomiędzy mocą maszyny wyciągowej a drugim, obok parametrów technicznych Q , H , czynnikiem określającym pracę ciągnięcia - liczbą cykli maszyny na dobę. Posłużono się ponownie współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona. Weryfikowano hipotezę podstawową $H_0: \rho = 0$, wobec hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$. Obliczono, że $R_{N,C} = -0,34$, $R_{kryt} = 0,33$. Jak widać wartość bezwzględna współczynnika korelacji z próbki jest większa od wartości krytycznej ($\nu = 32$, $\alpha = 0,05$). Istnieje więc istotnie ujemna korelacja pomiędzy mocą a dobową liczbą cykli maszyny wyciągowej.

Wynika to z faktu, że maszyny wyciągowe pracujące z mniejszych głębokości mają także mniejszą moc, natomiast liczba cykli ich pracy rośnie. Wymaga to sprawdzenia współczynnika korelacji liniowej pomiędzy liczbą cykli maszyny wyciągowej a głębokością ciągnięcia, chociaż wzrost liczby cykli ze zmniejszaniem się głębokości ciągnięcia wydaje się być oczywisty. (W badaniach nie zanotowano istotnych różnic prędkości jazdy, stąd parametr ten pominięto).

Jak i poprzednio, obliczono współczynnik korelacji liniowej, który dla próbki 19 maszyn wyciągowych (wyjaśnienie poniżej) wyniósł $R_{J,H} = -0,50$ wobec $R_{kryt} = 0,46$ ($\nu = 17$, $\alpha = 0,05$).

Wartość bezwzględna współczynnika korelacji liniowej z próbki jest większa od wartości krytycznej, a więc rzeczywiście istnieje istotnie ujemna korelacja pomiędzy głębokością ciągnięcia a liczbą cykli pracy maszyny wyciągowej na dobę.

4.2. Badania korelacji pomiędzy miernikami procesu użytkowania

Następnie poddano analizie korelacyjnej związku pomiędzy niektórymi miernikami procesu użytkowania maszyny wyciągowej.

Po pierwsze zbadano korelację pomiędzy dobową liczbą cykli maszyny wyciągowej a wskaźnikiem wykorzystania maszyny wyciągowej, obliczonym wg wzoru [2]. Próbka maszyn liczyła 19 sztuk, gdyż dla tylu maszyn wyciągowych uzyskano dane odnośnie do m^* (tabl. 1).

Obliczono współczynnik korelacji liniowej z próbki, którego wartość wyniosła $R_{J,m^*} = 0,22$. Z tablic odczytano, że $R_{kryt} = 0,46$ ($\nu = 17$; dla $\alpha = 0,05$). Hipotezy sformułowaną podobnie jak poprzednio. W związku z tym, że $R_{J,m^*} < R_{kryt}$, nie ma podstaw do odrzucenia weryfikowanej hipotezy $H_0 : \rho = 0$. A więc korelacja pomiędzy dobową liczbą cykli maszyny wyciągowej a jej wskaźnikiem wykorzystania jest nieistotna. Przyczyną tego jest, jak się wydaje, wpływ głębokości ciągnięcia na R_{J,m^*} . Postanowiono wyeliminować wpływ głębokości ciągnięcia, co wymaga zastosowania współczynnika korelacji cząstkowej.

Dla określenia współczynnika korelacji cząstkowej $R_{J,m^*,H}$ konieczna jest znajomość, obok współczynnika korelacji liniowej $R_{J,H}$ (wcześniej obliczonego), także pomocniczego współczynnika $R_{m^*,H}$. Jego wartość liczbową obliczona dla próbki 19 maszyn wyciągowych wyniosła $R_{m^*,H} = 0,44$. Po wstawieniu współczynników korelacji liniowej do wzoru [5], wyliczono wartość współczynnika korelacji cząstkowej $R_{J,m^*,H} = 0,57$. Wobec tego, że $R_{kryt} = 0,47$ ($\nu = 16$, $\alpha = 0,05$), $R_{J,m^*,H} > R_{kryt}$, są podstawy do odrzucenia hipotezy podstawowej ($H_0 : \rho_{1,2,3} = 0$) i stwierdzenia, że korelacja pomiędzy liczbą cykli maszyny wyciągowej a jej miernikiem wykorzystania (po wyeliminowaniu wpływu głębokości ciągnięcia) jest istotnie dodatnia.

Następnie poddano badaniom korelacji miernik pracy ciągnięcia i wykorzystania maszyny wyciągowej. Współczynnik korelacji liniowej $R_{L,m'}$ = 0,44, natomiast R_{kryt} = 0,46 (ν = 17, α = 0,05). Widać stąd, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o braku korelacji pomiędzy pracą ciągnięcia a miernikiem wykorzystania maszyny wyciągowej.

Również po wyeliminowaniu wpływu głębokości ciągnięcia współczynnik korelacji cząstkowej $R_{L,m',H}$ = 0,23 wobec R_{kryt} = 0,47, (ν = 16, α = 0,05), co wskazuje, że korelacja pomiędzy pracą ciągnięcia a miernikiem wykorzystania jest nieistotna (po wyeliminowaniu głębokości ciągnięcia).

Wyniki analizy korelacyjnej zebrano w tablicy 3.

Tablica 3

Lp.	Badany współczynnik korelacji	Współczynnik korelacji		U w a g i
		z próbki	krytyczny	
1	$R_{MW,L}$	0,5248	0,2800	Wsp.korel. rang. Spearmana
2	$R_{N,A}$	0,6564	0,3300	Wsp.korel. liniowej
3	$R_{N,J}$	- 0,3411	0,3300	- " -
4	$R_{J,H}$	- 0,4983	0,4550	- " -
5	$R_{J,m''}$	0,2230	0,4550	- " -
6	$R_{m'',H}$	0,4449	0,4550	Wsp.korel. liniowej (pomocniczy)
7	$R_{J,m'',H}$	0,5718	0,4683	Wsp.korel. cząstkowej
8	$R_{L,m''}$	0,4394	0,4555	Wsp.korel. liniowej
9	$R_{L,H}$	0,6186	0,4550	Wsp.korel. liniowej (pomocniczy)
10	$R_{L,m'',H}$	0,2333	0,4683	Wsp.korel. cząstkowej

Oznaczenia: MW - typ maszyny wyciągowej

L - praca ciągnięcia

N - moc maszyny wyciągowej

A = QH

H - głębokość ciągnięcia

J - dobową liczbą cykli

m'' - miernik wykorzystania maszyny wyciągowej

5. Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań niektórych mierników procesu użytkowania maszyny wyciągowej można podsumować następująco:

1. Przeciętna wartość miernika pracy ciągnięcia maszyn wyciągowych skopowych wynosi: $3136,6 \cdot 10^7$ [Nm/dobę].
2. Przeciętna dobową liczbą cykli dla omawianych maszyn ma wartość 427,7.
3. Istnieje korelacja pomiędzy typem maszyny wyciągowej a miernikiem pracy ciągnięcia.
4. Maszyny wyciągowe mniejszych mocy (w szybach płytowych) cechuje wyższa dobową liczbą cykli pracy.
5. Istnieje dodatnia korelacja pomiędzy liczbą cykli a miernikiem wykorzystania maszyny wyciągowej (po eliminacji wpływu głębokości ciągnięcia).
6. Nie stwierdzono korelacji pomiędzy miernikiem pracy ciągnięcia a miernikiem wykorzystania maszyny wyciągowej.

Celowe wydają się rozszerzenie opisanych badań na większą próbkę maszyn wyciągowych określonych typów, a następnie ustalenie dla nich miernika przeciętnej wartości pracy ciągnięcia. Miernik ten (oraz dobową liczbą cykli pracy) powinien być uwzględniony w badaniach niezawodnościowych maszyn wyciągowych.

LITERATURA

- [1] Antoniuk J., Brodziński S., Czaplicki J., Lutyński A.: Badania niezawodnościowe urządzeń wyciągowych z uwzględnieniem badań rozruchowych (mat. nie publikowany) IMG, Pol. Śl., Gliwice 1978, 1979.
- [2] Bizenkov V.N.: Kolicestvennyje zavisimosti meždu pokazatelami nadežnosti i eksploatacionnymi faktorami skopovogo pod'jema. Sbornik naučnych trudov 1974/66: Voprosy gornoj mechaniki. Kemerovo.
- [3] Czaplicki J.: Analiza korelacyjna niektórych własności procesu eksploatacji maszyn wyciągowych. ZN Pol. Śl., Górnictwo z. 89, Gliwice 1978.
- [4] Manec I.G., Gruzutin P.J., Negruckij B.F.: Remotn šachtnych pod'jemnych mašin. Moskwa, Nedra 1979.
- [5] Zieliński R.: Tablice statystyczne. Warszawa, PWN 1972.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1980 r.

Recenzent: Doc. dr inż. Karol Reich

Исследования некоторых показателей процесса эксплуатации подъемной машины

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований некоторых показателей процесса эксплуатации подъемной машины, а также подвергнуты были они корреляционному анализу.

Testing of some of exploitation indices of winders

S u m m a r y

The paper presents the results of examinations of indices characterizing winder exploitation process, i.e. time utilization index, number of winds per day and the so-called hoisting work (Nm per day). Correlation of these indices is then analysed.