

ROBERT W. NIEDBAŁ
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA
CZĘSTOCHOWA

TRÓJSTANOWY PROCES EKSPLOATACJI UKŁADÓW HAMULCOWYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH Z NAPĘDEM ASYNCHRONICZNYM

W pracy omówiono trójstanowy model procesu eksploatacji układów hamulcowych konstrukcji ZKMPW (typ SHP-620) maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym, wykorzystując do jego opisu stochastyczny proces Markowa.

1. Wstęp.

Układ hamulcowy jest urządzeniem służącym do bezpiecznego i niezawodnego unieruchomienia maszyny wyciągowej niezależnie od jej stanu / stan postoju, stan rozruchu, stan ruchu ustalonego, stan zwalniania /. Te dwa główne kryteria bezpiecznego i niezawodnego unieruchomienia maszyny wyciągowej pozostają niezmielne przez cały okres eksploatacji, nie zależą od przeznaczenia szybu i stanowią zasadę bezwzględnej nadrzędności nad wszelkimi innymi wymaganiami.

Obostrzone wymogi projektowania i eksploatacji, wynikające z obowiązujących przepisów [3], jak również częste przeglądy profilaktyczne i konserwacyjne, stanowią zrozumiałą dbałość o wysoką sprawność i poprawność działania układów hamulcowych. Poczynania te, mimo że w zdecydowanym stopniu zapobiegają uszkodzeniom nie są jednak w stanie całkowicie ich wyeliminować i zapewnić wysoką na stałym poziomie sprawność przez cały

okres eksploatacji.

W praktyce zdarza się, że układ hamulcowy niecałkowicie utracił zdolność do pracy, a jedynie obniżeniu uległy niektóre parametry techniczne, jak wydłużenie czasów martwych przez powstanie luzów i nieszczelności, starcie okładzin szczęk hamulcowych itp., powodując obniżenie sprawności układu i powstanie zagrożeń. Pomimo tych zagrożeń można na ogół utrzymać urządzenie wyciągowe w ruchu do czasu naprawy. W analizie niezawodnościowej zagrożenia wykluczające możliwość utrzymania urządzenia w ruchu zalicza się do uszkodzeń. Powodują one przejście urządzenia do stanu niezdatności. Pozostałe zaś, nie powodujące konieczności natychmiastowej przerwy w ruchu, a polegające na obniżeniu sprawności układu możemy zaliczyć do stanu częściowej zdatności.

W przypadku tym mamy więc do czynienia z trójstanowym modelem procesu eksploatacji układu hamulcowego, w którym wyróżniamy stan pełnej zdatności, stan częściowej zdatności i stan niezdatności.

Przedmiotem rozważań niniejszej pracy jest zaprezentowanie matematycznego modelu procesu eksploatacji układu hamulcowego maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym oraz podanie wstępnych oszacowań estymatorów parametrów procesu uzyskanych na podstawie badań eksploatacyjnych [4].

2. Przedmiot i zakres badań

Wstępną fazą badań eksploatacyjnych było zebranie potrzebnych informacji umożliwiających identyfikację badanych obiektów / układów hamulcowych /. W oparciu o identyfikację i analizę jednorodności konstrukcyjnej oraz przyjmując przeciętne warunki eksploatacji systemu transportu pionowego, określono kryteria wyboru. Układy hamulcowe spełniające kryteria wyboru objęte zostały zasadniczymi badaniami eksploatacyjnymi, które miały na celu dostarczenie informacji dotyczących przebiegu ich pracy.

Ostatecznie badaniami objęto 6 urządzeń wyciągowych z napędem asynchronicznym o udźwigu użytecznym około 6 Mg, posiadających układ hamulcowy konstrukcji ZKMPW (typ SHP-620) szybów głównych i pomocniczych o dużym natężeniu ruchu. Utworzono w ten sposób próbkę reprezentacyjną z zachowaniem jednorodności konstrukcyjnej, eksploatacyjnej i wiekowej.

Zasadnicze badania eksploatacyjne prowadzono według planu NWT [1], tzn. badano N jednostek w okresie rzeczywistego czasu pracy maszyny wyciągowej $T = 40000h$. z naprawą / wymianą / wszystkich uszkodzonych elementów

układu hamulcowego.

3. Model procesu eksploatacji układu hamulcowego

Badania eksploatacyjne są uzasadnione faktem dostarczenia dużej ilości informacji o jakości działania / stanie fizycznym / urządzenia w rzeczywistych warunkach użytkowania.

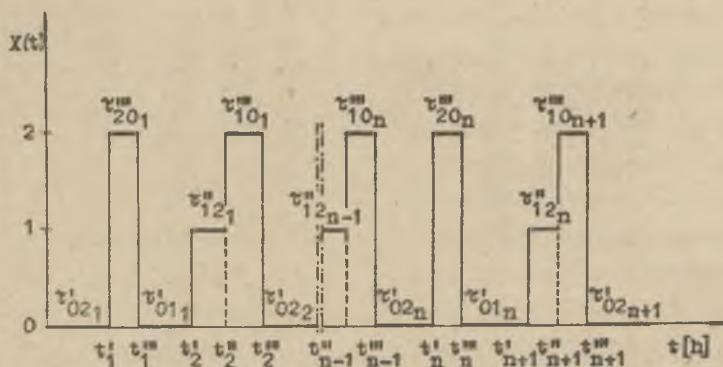
Aktualny stan fizyczny układu hamulcowego maszyny wyciągowej będącej w eksploatacji reprezentuje wektor własności technicznych $X(t)$. Zmiany składowych tego wektora w czasie mają charakter losowy i zależą od procesu eksploatacji systemu transportu pionowego. Formalnie można zatem traktować, że zmieniający się w czasie stan fizyczny układu hamulcowego jest odpowiednim wielostanowym procesem stochastycznym.

$$\{X(t)\} = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\} \quad (1)$$

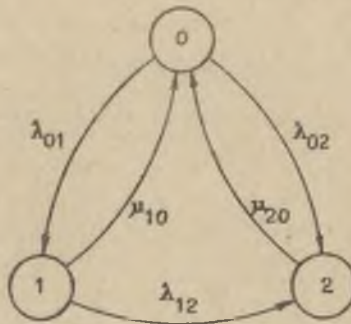
Układ hamulcowy maszyny wyciągowej jest w stanie spełnić należycie zadane mu funkcje pod warunkiem, że wszystkie jego parametry techniczne mieszczą się w zadanych przez projektantów przedziałach. W wyniku obniżenia wartości parametrów technicznych należy się liczyć ze spadkiem sprawności układu, a w przypadku przekroczenia przez któryś z parametrów dopuszczalnych granic - z wystąpieniem uszkodzenia i pojawieniem się potrzeby dokonania naprawy.

Układ hamulcowy maszyny wyciągowej traktować będziemy jako trójstanowy obiekt odnawialny.

Realizację zmiany stanu procesu $X(t)$ oraz możliwe jego przejścia w postaci grafu przedstawiono na rysunku 1 i 2.



Rys. 1. Realizacja zmiany stanu procesu $X(t)$.



Rys. 2. Graf niezawodnościowy układu hamulcowego maszyny wyciągowej z napędem asynchronicznym

W modelu tym w każdej chwili czasu wyróżniemy jeden z trzech stanów niezawodnościowych, w którym może się znaleźć układ hamulcowy:

- stan pełnej zdadności oznaczony symbolem 0, układ hamulcowy może pracować przy nominalnych parametrach technicznych z nominalną sprawnością,
- stan częściowej sprawności oznaczony symbolem 1, układ hamulcowy może pracować przy parametrach technicznych czasowo obniżonych w wyniku nieszczelności, luzów, starcia okładzin szczęk hamulcowych itp. / obniżona sprawność /,
- stan niezdatności oznaczony symbolem 2, układ hamulcowy na skutek uszkodzenia któregoś z elementów nie jest zdadny do pracy.

Na podstawie informacji uzyskanych z zasadniczych badań eksploatacyjnych stwierdzono w oparciu o metodę graficzną / rys. 3. /, że czasy trwania poszczególnych stanów procesu eksploatacji układu hamulcowego mają charakter wykładniczy. A zatem:

- rozkład czasów trwania stanu pełnej zdadności / symbol 0 / jest postaci:

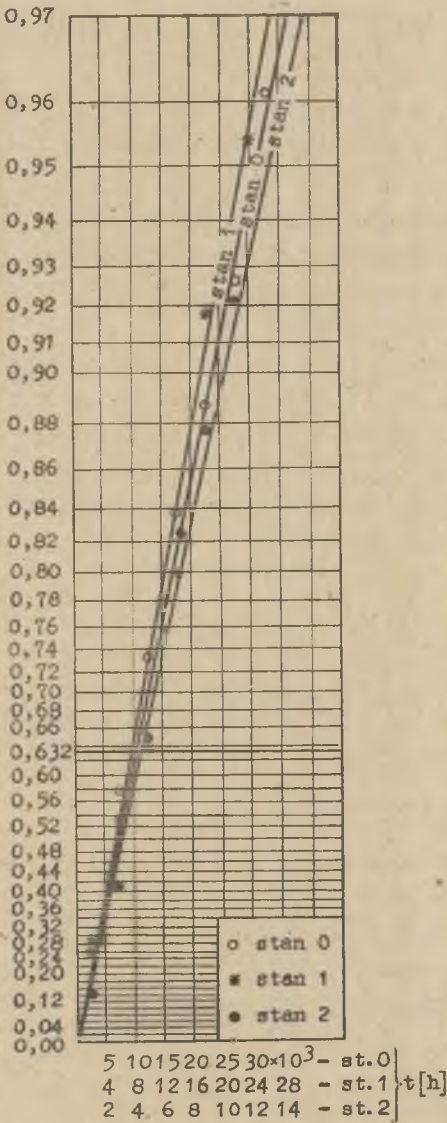
$$F(t) = 1 - \exp(-\varphi_0 t) \quad \varphi_0 > 0 \quad (2)$$

- rozkład czasów trwania stanu częściowej zdadności / symbol 1 / jest postaci:

$$G(t) = 1 - \exp(-\varphi_1 t) \quad \varphi_1 > 0 \quad (3)$$

- rozkład czasów trwania stanu niezdatności / symbol 2 / jest postaci:

$$H(t) = 1 - \exp(-\varphi_2 t) \quad \varphi_2 > 0 \quad (4)$$



Rys. 3. Przebieg dystrybuanty empirycznej czasów trwania poszczególnych stanów na siatce rozkładu wykładniczego.

W miarę upływu czasu następuje zmiana stanu niezawodnościowego układu hamulcowego i dzięki temu mamy do czynienia z odpowiednim trójstanowym dyskretnym procesem stochastycznym Markowa [2], [5], który można odwzorować matematycznie zapisując / rys. 1. /:

$$[X(t)] = \begin{cases} 0 & \begin{cases} \tau'_{01n} \\ \tau'_{02n} \end{cases} e^{(t''_{n-1}; t'_n)} \\ 1 & \tau''_{12n} e^{(t'_n; t''_n)} \quad (5) \\ 2 & \begin{cases} \tau'''_{10n} \\ \tau'''_{20n} \end{cases} e^{(t''_n; t'''_n)} \end{cases}$$

W modelu niniejszym / rys. 2. / zakłada się, że każda naprawa układu hamulcowego przywraca go do stanu pełnej zdadności, w związku z czym niemożliwe jest przejście ze stanu 2 do stanu 1. Praca w stanie 1, czyli praca przy zmniejszonych na skutek nieszczelności, luzów itp. parametrach technicznych jest stanem przejściowym, występującym w praktyce eksploatacyjnej w okresach przed naprawą. Utrzymanie stanu 1 przez długi okres eksploatacji jest niekorzystne, a nawet niedopuszczalne z punktu widzenia żywotności układu hamulcowego oraz ze względu na możliwość wystąpienia uszkodzeń wtórnych. Przejście ze stanu 1 do stanu 0 z pominięciem stanu 2 możliwe jest w przypadku układu hamulcowego przez realizowa-

nie naprawy w czasie odstawienia planowego lub spowodowanego uszkodzeniem

innych układów maszyny wyciągowej, względnie postoju użytkowego lub koncesyjnego.

4. Parametry charakteryzujące trójstanowy proces eksploatacji układu hamulcowego:

W celu identyfikacji procesu eksploatacji układów hamulcowych maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym, przeprowadzono badania eksploatacyjne zgodnie z planem NWT, a następnie oszacowano:

- intensywności zmiany stanów niezawodnościowych,
- prawdopodobieństwa graniczne stanów,
- parametry rozkładów czasów trwania poszczególnych stanów.

Parametrami charakteryzującymi układ hamulcowy pod względem niezawodnościowym są intensywności napraw i uszkodzeń. Uwzględniając wykładniczy charakter czasów trwania poszczególnych stanów funkcje te przyjmują wartości stałe niezależne od czasu, a mianowicie:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_{01} = \frac{1}{T_{01}} \quad ; \quad T_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau'_{01n} \\ \lambda_{02} = \frac{1}{T_{02}} \quad ; \quad T_{02} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau'_{02n} \\ \lambda_{12} = \frac{1}{T_{12}} \quad ; \quad T_{12} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau''_{12n} \end{array} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu_{10} = \frac{1}{T_{10}} \quad ; \quad T_{10} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau'''_{10n} \\ \mu_{20} = \frac{1}{T_{20}} \quad ; \quad T_{20} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau'''_{20n} \end{array} \right\} (7)$$

gdzie:

- n - licznosc poszczególnych próbek,
- T_{01} - średni czas pracy układu hamulcowego w stanie 0 poprzedzony przejściem do stanu 1, odtworzony ze statystyki ruchowej jako czas od ostatniej naprawy do chwili zgłoszenia obniżonej sprawności / nieszczelności, luzy, starcie okładziny szcęk hamulcowych itp. /,
- T_{02} - średni czas pracy układu hamulcowego przy nominalnych para-

- metrach technicznych / pełna sprawność układu hamulcowego /,
- T_{12} - średni czas pracy układu hamulcowego przy parametrach technicznych czasowo obniżonych w wyniku nieszczelności, luzów, starcia okładzin szczęk hamulcowych itp. / obniżona sprawność układu hamulcowego /,
- T_{10} - średni czas zużyty na usunięcie usterek / uszczelnienie, regulacja itp. / układu hamulcowego wynikających z pracy przy obniżonych parametrach technicznych,
- T_{20} - średni czas zużyty na usunięcie uszkodzenia układu hamulcowego.

Stochastyczna macierz przejścia dla modelu układu hamulcowego zobrażowanego grafem / rys. 2. / przyjmie następującą postać:

$$P = \begin{pmatrix} -(\lambda_{01} + \lambda_{02}) & \mu_{10} & \mu_{20} \\ \lambda_{01} & -(\mu_{10} + \lambda_{12}) & 0 \\ \lambda_{02} & \lambda_{12} & -\mu_{20} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Proces przejścia między stanami jest procesem stochastycznym niezależnym o stałych intensywnościach przejścia określonych wzorami (6) i (7).

Oznaczając przez:

$P_i(t)$ - prawdopodobieństwo znalezienia się układu hamulcowego w stanie i w czasie t ,

$P_i = \int_0^{\infty} P_i(t) dt$ - prawdopodobieństwo znalezienia się układu w stanie i - ustalonym czyli przy $t \rightarrow \infty$

Otrzymamy z macierzy (8) układ równań do określenia prawdopodobieństw granicznych, rozwiązywany przy równaniu normalizującym, który przedstawia się następująco:

$$\begin{aligned} -P_0(\lambda_{01} + \lambda_{02}) + P_1\mu_{10} + P_2\mu_{20} &= 0 \\ P_0\lambda_{01} - P_1(\mu_{10} + \lambda_{12}) &= 0 \\ P_0\lambda_{02} + P_1\lambda_{12} - P_2\mu_{20} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^2 P_i = 1 \quad (10)$$

Wartości prawdopodobieństw granicznych po pominięciu oczywistych

przekształceń będą wyrażały się następująco:

$$P_0 = \frac{\mu_{20}\lambda_{12} + \mu_{10}\mu_{20}}{B} \quad (11)$$

$$P_1 = \frac{\mu_{20}\lambda_{02}}{B} \quad (12)$$

$$P_2 = \frac{\mu_{10}\lambda_{01} + \lambda_{01}\lambda_{12} + \lambda_{02}\lambda_{12}}{B} \quad (13)$$

gdzie:

$$B = \mu_{20}\lambda_{02} + \mu_{20}\lambda_{12} + \lambda_{01}\lambda_{12} + \lambda_{01}\mu_{10} + \mu_{10}\mu_{20} + \lambda_{02}\lambda_{12}$$

Wartości prawdopodobieństw granicznych oraz intensywności zmiany stanów niezawodnościowych w kolejności według wzorów (6) i (7) zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1

Stan niezawodnościowy i	P_i	Intensywności	
		uszkodzeń λ_{ij} [h ⁻¹]	napraw μ_{ij} [h ⁻¹]
0	0,988042	0,000975	0,199115
1	0,002815	0,000838	0,134680
2	0,009143	0,095238	

Dla przyjętego planu badań oszacowaniem parametru φ_1 rozkładu wykładniczego jest zaobserwowana w danej próbie wartość φ_1^* estymatora $\hat{\varphi}_1$ określonego wzorem:

$$\varphi_1^* = \frac{n_1}{T_1}, \quad (14)$$

przy czym; n_1 oznacza liczbę zaobserwowanych zmian danego i-tego stanu w czasie trwania badań, T_1 oznacza zaś sumaryczny czas trwania danego i-tego stanu.

Estymator (14) jest estymatorem zgodnym, nieobciążonym i najefektywniejszym nieznannej wartości φ_1 .

Wariancja estymatora (14) dana jest wzorem:

$$D^2(\varphi_1) = \frac{\varphi_1}{T_1} \quad (15)$$

natomiast granice dwustronnego przedziału ufności dla parametru φ_1 na poziomie ufności β uzyskać można ze wzorów:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{idd} &= \frac{\chi_{2n_1}^2 ; \frac{1-\beta}{2}}{2T_1} \\ \varphi_{idg} &= \frac{\chi_{2n_1}^2 ; \frac{1+\beta}{2}}{2T_1} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

gdzie:

$\chi_{2n_1}^2 ; \frac{1 \mp \beta}{2}$ - kwantyl rozkładu χ^2 o $2n_1$ stopniach swobody,
 β - poziom ufności / przyjmowano $\beta = 0,95$ /.

Wyniki oszacowań parametru φ_1 wraz z przedziałami ufności i wariancją zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Stan niezawodnościowy i	φ_1^* [h ⁻¹]	Granice przedziału ufności		$D^2(\varphi_1)$
		φ_{idd} [h ⁻¹]	φ_{idg} [h ⁻¹]	
0	0,000865	0,000751	0,000987	$0,36512 \cdot 10^{-8}$
1	0,095238	0,081053	0,110550	$5,66893 \cdot 10^{-5}$
2	0,144979	0,125810	0,165487	$10,23511 \cdot 10^{-5}$

5. Uwagi końcowe.

Współczesna nauka o niezawodności dysponuje rozwiązaniami przydatnymi do zastosowań technicznych. W pracy pokazano możliwość wykorzystania procesu stochastycznego Markowa do modelowania procesu eksploatacji układów hamulcowych maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym.

Przedstawione badania szczegółowych układów hamulcowych wykazały, że:

- badana konstrukcja ZKMPW (typ SHP-620) charakteryzuje się dużą niezawodnością; uwidocznione to jest bardzo małymi wartościami φ_0 , Δ_{01}

i Δ_{02} .

-przeważająca liczba napraw wykonywanych w czasie eksploatacji polega przede wszystkim na uszczelnieniu elementów pneumatyki, regulacji układu dźwigniowego i eliminacji luzów; świadczą o tym wartości φ_1 i μ_{10} .

- układy te mają mały wpływ na niezawodność eksploatacyjną maszyn wy-

ciągowych, o czym świadczą wartości φ_2 , λ_{12} i μ_{20} .

Systematyczne prowadzenie tego rodzaju badań, obejmujących poszczególne układy maszyny wyciągowej, pozwoliłoby na opracowanie w oparciu o teorię procesów Markowa modeli obsługi, co niewątpliwie wpłynęłoby na poprawę konstrukcji i podniesienie efektywności pracy maszyny wyciągowej.

LITERATURA

- [1]. Gniedenko B.W., Bielajew J.K., Sołowiew A.D.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1968.
- [2]. Koźniewska I., Włodarczyk M.: Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi. PWN, Warszawa 1978.
- [3]. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Szczegółowe przepisy prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny. Katowice 1973.
- [4]. Niedbał R.W.: Niektóre charakterystyki niezawodności hamulca szczękowego maszyny wyciągowej. Praca doktorska, Politechnika Częstochowska. Częstochowa 1978.
- [5]. Zamojski W.: Teoria i technika niezawodności. Skrypty Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1976.

ТРЕХСОСТАВНОЙ ПРОЦЕСС ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН С АСИНХРОННЫМ ПРОВОДОМ

Р е з ю м е

В статье обсуждается трёхсоставная модель процесса эксплуатации тормозных систем конструкции ПКМУП (ЗКМПВ) (типа СХП-620) подъёмных машин с асинхронным приводом, используя для её описания стохастический процесс Маркова.

THE TREE-STATE PROCESS OF EXPLOITATION OF BRAKING SYSTEMS IN AC WINDERS

S u m m e r y

The paper deals with the three-state model of exploitation process of braking systems designed by the ZKMPW /type SHP-620/ and used in AC winders. The stochastic Markov process has been adapted to describe the model.