

KONFERENCJA: MODELOWANIE GORNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH

9-10.XII.1977

KRYSTYNA OLSZEWSKA
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW
ELEKTROTECHNIKI I ENERGOELEKTRONIKI
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
GLIWICE

NIEZAWODNOŚĆ UKŁADU AUTOMATYCZNEJ
REGULACJI KOPALNIANEJ MASZINY WYCIĄGOWEJ
W OPARCIU O DANE EKSPLOATACYJNE

W artykule przedstawiono metody obliczeniowe niezawodności części elektrycznej kopalnianych maszyn wyciągowych pracujących w układzie Leonarda oraz ich zastosowanie w oparciu o dane eksploatacyjne.

1. Wstęp

Awarie maszyny wyciągowej, jako jedyne go środka transportu ludzi i urobku w kopalniach, powodują w skali rocznej olbrzymie straty, dezorganizację produkcji a jednocześnie zmniejszają wydobyte węgla.

W związku z tym istnieje potrzeba przeprowadzenia szczegółowej analizy przyczyn powstających uszkodzeń, w celu określenia dróg prowadzących do zmniejszenia ich liczby.

Przedstawiona poniżej analiza oparta o statystyczną obróbkę danych eksploatacyjnych dotyczy części elektrycznej maszyny wyciągowej wraz z ołowodem sygnalizacji i bezpieczeństwa. Przyjęcie takiego zakresu analizy wydaje się w pełni uzasadnione biorąc pod uwagę udział kosztu części mechanicznej i części elektrycznej w całkowitym koszcie maszyny przyjętym jako 100% kosztu (rys. 1.) [5].

Jak widać z poniższego zestawienia koszt części elektrycznej maszyny wyciągowej prądu stałego waha się w granicach 67 - 88% całkowitego kosztu maszyny.

Rodzaj napędu	Koło pędne		bębny cylindryczne	
	część mecha- niczna	część elek- tryczna	część mecha- niczna	część elek- tryczna
1. bezpośredni w układzie Leonarda	15-23%	85-77%	35-43%	65-57%
2. pośredni w układzie Leonarda	27-33%	73-67%	ok. 50%	ok. 50%
3. asynchroniczny	45-50%	55-50%	60-65%	40-35%
4. bezpośredni prądu stałego tyrystorowy	12-20%	88-80%	32-40%	68-60%

Rys. 1. Względny udział kosztu części mechanicznej i części elektrycznej w koszcie całkowitym maszyny wyciągowej przyjętym jako 100% kosztu.

2. Wprowadzenie teoretyczne

Niezawodność można zdefiniować jako zdolność obiektu bądź jego elementów do wypełniania narzuconych funkcji w zadanych przedziałach czasu i określonych warunkach pracy.

Tak zdefiniowana niezawodność obiektu zależy od wielu czynników konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i technologii jego elementów itp. Każdy z czynników wpływa w różnym stopniu na bezawaryjną pracę obiektu tzn. wpływ ma charakter losowy. Wymagane jest więc przeprowadzenie analizy związków istniejących między metodami matematycznymi z dziedziny rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej a naturą powstawania uszkodzeń.

Istnieje wiele metod obliczania niezawodności obiektu. Poniżej przedstawiono kilka metod [1,2,3,6,7] zaadoptowanych do obliczania niezawodności kopalnianych maszyn wyciągowych.

2.1. - Metody oparte o kryteria niezawodności urządzeń [1,6]

- a. Najprostszym sposobem jest wykorzystanie do obliczeń wartości średnich czasów poprawnej pracy i średnich czasów napraw.

A więc:

- średni czas poprawnej pracy:

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}}{N} \quad (1)$$

- średni czas napraw:

$$t_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}}{N} \quad (2)$$

gdzie: $\sum t_{pi}$ - sumaryczny czas poprawnej pracy

$\sum t_{ni}$ - sumaryczny czas przestoju z powodu napraw

N - ilość badanych elementów

- współczynnik gotowości:

$$K_g = \frac{t_p}{t_p + t_n} \quad (3)$$

by wreszcie niezawodność maszyny obliczyć ze wzoru:

$$P(t) = K_g + (1 - K_g) e^{-\frac{t_p}{t_p + t_n}} \quad (4)$$

b. Drugim sposobem jest potraktowanie czasu poprawnej pracy i czasu napraw jako zmiennych losowych. Korzystamy przy tym z następujących zależności:

- parametr potoku awarii - jest to iloraz liczby elementów, które uległy awarii w jednostce czasu do liczby badanych elementów pod warunkiem, że elementy uszkodzone zastępujemy nowymi lub naprawiamy

$$\bar{\omega}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} \quad (5)$$

gdzie: $n(\Delta t)$ - liczba elementów które uległy awarii w jednostce czasu

$$\left[t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2} \right]$$

Δt - przedział czasowy dowolnie przyjęty

- częstotliwość występowania awarii

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} \quad (6)$$

przy założeniu, że uszkodzone elementy nie zostały naprawione

- statystyczne określenie potoku awarii:

$$\omega(t) = a(t) + \int_0^t \omega(\tau) a(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

Sposób ten jest oparty o następujący tok postępowania: obliczamy czas poprawnej pracy maszyny bez uwzględnienia czasu napraw i traktujemy go jako zmienną losową. Z danych o awariach i wyrażenia na parametr potoku awarii wyliczamy $\bar{\omega}(t)$ dla wybranych przedziałów czasowych. Z wartości tych budujemy histogram $\omega(t)$, który aproksymujemy krzywą i opisujemy równaniem. Korzystając z przekształcenia Laplace'a i statystycznego określenia potoku awarii obliczamy częstotliwość występowania awarii $a(t)$ bez uwzględnienia czasu napraw a następnie możemy już obliczyć prawdopodobieństwo poprawnej pracy bez uwzględnienia czasu napraw:

$$P(t)_p = 1 - \int_0^t a(\tau) \tau d\tau \quad (8)$$

Ponieważ jednak czas napraw jest większy od zera musimy go uwzględnić w obliczeniach wprowadzając drugą zmienną losową, którą będzie czas napraw nie uwzględniający z kolei czasu poprawnej pracy. Postępujemy zgodnie z opisany poprzednio tokiem postępowania i dochodzimy do obliczenia prawdopodobieństwa czasu napraw $P(t)_n$.

Teraz możemy już korzystając z zależności: $T = \int_0^t a(t) dt$ obliczyć średni czas poprawnej pracy T_p , średni czas napraw T_n i współczynnik gotowości K_g by dojść do prawdopodobieństwa poprawnej pracy z uwzględnieniem czasu napraw:

$$P(t) = K_g + (1 - K_g) e^{-\frac{\sum t_{oi}}{K_g T_n}} \quad (9)$$

2.2. - Przy zastosowaniu struktury niezawodnościowej [3,6,7]

Struktura niezawodnościowa służy do określenia całkowitej niezawodności obiektu przy danej budowie i określonych wartościach niezawodności wszystkich jego elementów. Rozróżnia się strukturę szeregową, równoległą i mieszaną. Ze względu na przepisy BHP wykluczające pracę maszyny wyciągowej z jakimkolwiek uszkodzeniem przyporządkowano jej strukturę szeregową czyli układ będzie uszkodzony jeżeli jakimkolwiek element będzie uszkodzony.

Układ regulacji maszyny dzielimy na bloki, które łączymy szeregowo. Nie znaczy to jednak, że w rzeczywistym układzie elektrycznym są one tak połączone.

W układzie elektrycznym badanych maszyn wyciągowych wyróżniono następujące bloki:

- I_a i I_b - układ zadawania prędkości
- II - wzmacniacze wstępne
- III - amplidyna
- IV - wzbudzenie prądnic sterujących
- V - prądnice sterujące
- VI - silnik główny
- VII - transformator stabilizacyjny układu wzbudnicy
- VIII - transformator stabilizacyjny układu napędowego obwodu głównego
- IX - układ ograniczenia wielkości prądu obwodu głównego
- X - układ gassenia remanentu
- XI - układ ograniczenia przyrostów napięć wzbudnicy
- XII - tachoprądnica
- XIII - układ wzbudzenia silnika głównego
- XIV - obwód bezpieczeństwa
- XV - inne uszkodzenia

Chcąc dokonać oszacowania niezawodności musimy obliczyć niezawodność poszczególnych bloków posługując się np. metodą masowej obsługi i grafów. Obliczamy więc dla poszczególnych bloków intensywność uszkodzeń:

$$\lambda_p = \frac{1}{T_{sp}} = \frac{N_o}{\sum_{i=1}^n t_{pi}} \quad (10)$$

N_o - liczba uszkodzeń w rozpatrywanym okresie
intensywność napraw:

$$\mu_n = \frac{1}{T_{sn}} = \frac{N_o}{\sum_{i=1}^n t_{ni}} \quad (11)$$

by prawdopodobieństwa bloków obliczać ze wzoru:

$$P_{\text{bloku}}(t) = 1 - \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mu_n} - \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mu_n} \cdot e^{-(\lambda_p + \mu_n) t} \quad (12)$$

Następnie zgodnie z istotą szeregowej struktury niezawodnościowej obliczono prawdopodobieństwo poprawnej pracy maszyny jako iloczyn prawdopodobieństw poszczególnych bloków:

$$P(t) = P_{b1} \times P_{b2} \times \dots \times P_{bn} \quad (13)$$

3. Obliczenia niezawodnościowe w oparciu o dane eksploatacyjne

Dane eksploatacyjne poddane analizie pochodzą z sześciu zakładów jednego zjednoczenia i dotyczą 14 maszyn wyciągowych pracujących w układzie Leonarda a projektowanych przez Biuro Projektów Górniczych w Gliwicach. Dane zbierane były w przeciągu 2 lat tzn. 732 dni zgodnie z tabelą(rys. 2) przedstawiającą przebieg pracy maszyn w rozpatrywanym dwulétnim okresie.

Nr uszk. bloku	Oznaczn. uszkodz. elem.	Data awarii	Rodzaj uszkodzenia	Czas lokal. uszk. elem.	Czas uszkodz. elem.	Czas naprawy elem.	Czas uszk. bloku	Czas lokalizacji uszk. bloku	Czas naprawy bloku

Rys. 2. Wykaz awarii maszyny wyciągowej

Dane z powyższej tabeli posłużyły następnie do obliczenia czasów trwania awarii w poszczególnych blokach, średniej pracy ciągłej maszyny wyciągowej - 5661 h, średniego czasu braku węgla - 5349 h oraz średniego czasu konserwacji - 3000 h. Z obliczonych czasów zbudowano tabelę (rys. 3), która służyć będzie bezpośrednio do obliczeń niezawodnościowych.

Oznaczenie bloku	Awarie bez postoju maszyny	Awarie z postojem maszyny	Postój maszyny
I _a	26 h	9 h	3549 h
I _b	15 h 10	6 h 30	3551 h 30
II	30	6 h 50	3552 h 10
III	-	2 h	3556 h
IV	1 h 35	7 h 50	3550 h 10
V	3 h 50	18 h 50	3539 h 10
VI	12 h 45	7 h 10	3550 h 50
VII	-	1 h 5	3556 h 55
VIII	50	40	3557 h 20
IX	3 h 10	-	3558 h
X	45	-	3558 h
XI	1 h	-	3558 h
XII	2 h 40	1 h 30	3556 h 30
XIII	17 h 30	16 h 30	3541 h 30
XIV	70 h 25	19 h 10	3538 h 50
XV	50 h 30	25 h 25	3532 h 35

Rys. 3. Dane eksploatacyjne za okres 2 lat

Obliczenia niezawodności dokonano najpierw sposobem przedstawionym w pktcie 2.1.a korzystając ze wzorów (1 - 4), a więc:

$$t_p = \frac{5661 \text{ h}}{15} = 377,4 \text{ h}$$

$$t_n = \frac{122 \text{ h } 30}{15} = 8,167 \text{ h}$$

$$K_g = \frac{377,4}{377,4 + 8,167} = 0,9788182$$

$$P(t) = 0,9788182 + (1 - 0,9788182) \cdot e^{-\frac{377,4}{0,9788182 \cdot 8,167}} = 0,9788182$$

Metoda ta jest metodą niedokładną jak również nie daje obrazu niezawodności poszczególnych bloków maszyny. Dlatego też powtórnie dokonano obliczeń metodą masowej obsługi i grafów (wzory 10 - 12) korzystając z szeregowej struktury niezawodnościowej maszyny wyciągowej. Obliczenia te przedstawiono w tabeli (rys. 4).

Oznaczenie bloku	Liczba uszkodzeń	λ_p	μ_p	P_{bloku}
I _a	15	0,0026497	0,1224489	0,9974357
I _b	7	0,0012365	0,0571428	0,998799
II	4	0,0007065	0,032653	0,9993052
III	4	0,0007065	0,032653	0,9993052
IV	8	0,0014132	0,0653061	0,9992386
V	13	0,0022964	0,1061224	0,9978238
VI	6	0,0010598	0,0489795	0,999442
VII	2	0,0003532	0,0163265	0,9996498
VIII	1	0,0001766	0,0081632	0,9998242
IX	-	0	0	1
X	-	0	0	1
XI	-	0	0	1
XII	2	0,0003532	0,0163265	0,9996498
XIII	21	0,0037095	0,1714285	0,9965972
XIV	22	0,0038862	0,1795918	0,9964495
XV	34	0,006006	0,277551	0,947705

Rys. 4. Wyniki obliczeń wg metody z pktu 2.2.

Na podstawie tabeli (rys.4.) obliczono niezawodność maszyny wyciągowej zgodnie z wzorem (13)

$$P(t) = P_{bIa} \times P_{bIb} \times \dots \times P_{bXV} = 0,9784913$$

4. Wnioski

Jak wynika z przedstawionych wyników obliczeń niezawodności (rys. 4) największą zawodność wykazały w badanym okresie eksploatacyjnym układ wzbudzenia silnika wyciągowego (blok XIII) elementy wchodzące w skład obwodu bezpieczeństwa (blok XIV) oraz uszkodzenia inne (blok XV). W tej ostatniej grupie znajdują się takie uszkodzenia jak przerwa w zasilaniu, doziemienia w zasilaniu układu sterowania, przerwy i doziemienia w obwodzie sygnalizacji itp.

Zastosowanie do obliczeń niezawodności takiego złożonego obiektu jakim jest kopalniana maszyna wyciągowa metody uwzględniającej niezawodność poszczególnych bloków układu elektrycznego (pkt.2.2.) wydaje się w pełni uzasadniona i celowa. Metoda ta pozwala na dokładne obliczenia niezawodności poszczególnych bloków i w wyniku tego dokładne obliczenia niezawodności całej maszyny wyciągowej.

W dalszych badaniach należałoby przeprowadzić dokładną analizę rodzajów uszkodzeń w wyżej wymienionych blokach co doprowadzi do wyselekcjonowania najbardziej zawodnych elementów. Analiza ta będzie pomocna do określenia sposobu poprawy niezawodności poprzez zmiany konstrukcyjne lub technologiczne. Jeśli zmiany takie okażą się trudne do realizacji będzie można, na drodze dalszych obliczeń, określić niezbędną liczbę elementów zapasowych.

Przy określaniu sposobów poprawy niezawodności takiego obiektu jakim jest maszyna wyciągowa niezbędnym jest uwzględnienie aspektu ekonomicznego tzn. strat powstających w czasie postoju z powodu awarii, kosztów wymiany lub naprawy podzespołów oraz kosztów związanych z zapewnieniem odpowiedniej ilości elementów zapasowych.

5. Literatura

- [1] F. Bleichelt - "Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych"
WNT Warszawa 1974 r
- [2] F. I. Sin Cogor - "Vergatnosnyj metod rasceta rodeznosti schem elektriceskich soedinenij" Elektro: Stonek 1969 r
- [3] I. B. Gercbach - "Modele niezawodnościowe obiektów technicznych"
WNT Warszawa 1968 r
- [4] A. Kaczmarek - Praca dyplomowa 1977 r
- [5] T. Kuźniak - Praca dyplomowa 1976 r
- [6] B. S. Sotskow - "Niezwadność elementów i urządzeń automatyki"
WNT Warszawa 1973 r.
- [7] M. Sztarski - "Niezwadność i eksploatacja urządzeń elektronicznych"
WKŁ Warszawa 1972 r,

RELIABILITY OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF A HOIST BASED ON THE EXPLOITATION DATA

In the paper are described calculation methods of the reliability of the electrical part of mine winders in Ward-Leonard System. There is given run of 14 winders during 2 years of operation and reliability calculations of each block of the electrical system as well as the whole winder are presented.

Надёжность системы автоматического регулирования шахтных подъёмных машин, опираясь на эксплуатационные данные.

В статье представлены методы расчёта (эксплуатационной) надёжности электрической части шахтных подъёмных машин, работающих в системе Вард-Леонарда.

Представлена характеристика работы 14-ти подъёмных машин в течение двух лет эксплуатации. Проведены расчёты надёжности отдельных блоков электрической цепи и подъёмной машины в целом.