

JÓZEF HANSEL

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA im. St. STASZICA

KRAKÓW

DIAGNOSTYKA NIEZAWODNOŚCIOWA LIN NOŚNYCH  
GÓRNICZYCH URZĄDZEŃ WYCIĄGOWYCH

W artykule sformułowano problem diagnostyki niezawodnościowej lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych oraz omówiono podstawy teoretyczne opracowanej metody przewidywania terminu ich wymiany. Zamieszczono również program na maszynę cyfrową, pozwalający na praktyczne prognozowanie zużycia oraz terminu wymiany lin stalowych w oparciu o wyniki okresowych kontroli stanu przeprowadzonych w początkowym okresie ich eksploatacji.

1. Wstęp.

W referacie starano się wykazać celowość i możliwość prognozowania terminu wymiany lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych na podstawie wyników okresowych kontroli stanu przeprowadzanych w początkowym okresie ich eksploatacji. W tym celu:

- przeprowadzono analizę przebiegu zużycia lin nośnych urządzeń szybowych,
- sformułowano problem diagnostyki niezawodnościowej lin, przyjęto definicję wskaźnika niezawodności i kilku innych terminów z zakresu niezawodności lin,
- opracowano metodę wyznaczania dopuszczalnego poziomu zużycia,
- dokonano wyboru metody prognozowania stanu lin w oparciu o analizę szeregu czasowego utworzonego z wyników kontroli.

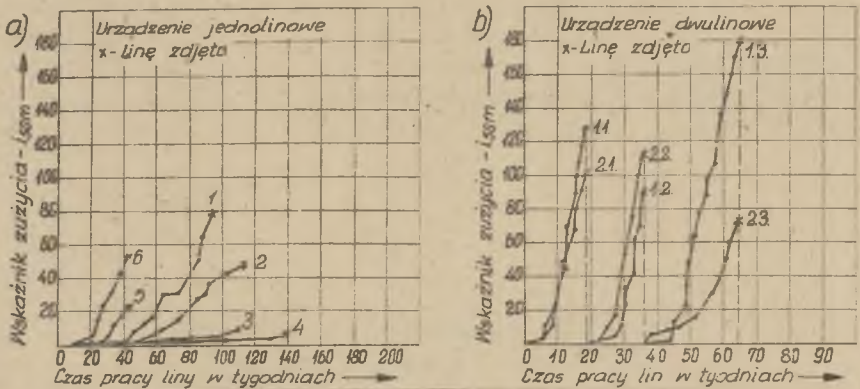
Przedstawienie wyników prac, mających na celu rozwiązanie tych problemów, stanowi treść niniejszego artykułu.

2. Analiza przebiegu zużycia lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych

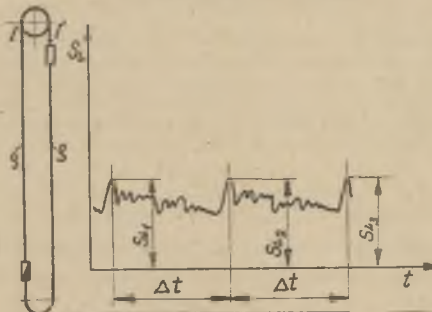
Problem trafnego wyznaczenia terminu wymiany lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych jest przedmiotem wielu prac [1].

Wysiłki badaczy z różnych krajów koncentrują się na znalezieniu uogólnionych związków pomiędzy czasem pracy lin a naprężeniami działającymi w linach, szeroko pojętymi warunkami pracy, liczbą wykonywanych cykli, ilością wykonanej pracy itd.

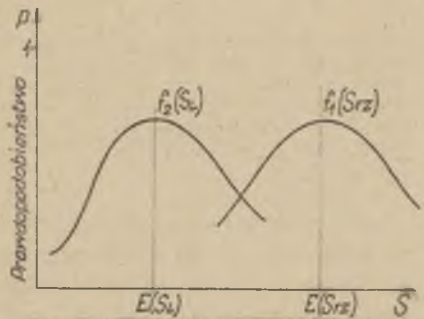
Podane sposoby przewidywania terminu wymiany lin nie dają zadowalają-



Rys. 1. Przebiegi narastania pęknięć zmęczeniowych drutów liczonych na długości 50 m lin.



Rys. 2. Przykładowy cykliczny przebieg obciążeń lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych.



Rys. 3. Przykładowe rozkłady rzeczywistych sił zrywających linę i sił w niej działających.

nych wyników.

Czas pracy linę zależy od tak dużej liczby czynników wymuszających, że ujęcie ich w matematyczne związki jest bardzo trudne. Świadczą o tym wyniki badań eksploatacyjnych przebiegu zużycia ponad 100 lin nośnych trójkątnospłotowych o średnicy 52 i 54 mm z 20 urządzeń wyciągowych jednolinowych oraz około 60 lin o średnicach 36 - 38 mm sześciu urządzeń dwu- i czterolinowych [1]. Obserwacje pęknięć zmęczeniowych wykazały, że ich rozkład nie jest jednakowy na całej długości linę. Stwierdzono ponadto, że dla żadnej z analizowanych linę suma pękniętych drutów, liczona na długości jednego skoku, nie osiągnęła 5 % całkowitej liczby drutów, która to wartość, zgodnie z przepisami, dyskwalifikuje linę. Również liczby pękniętych drutów liczona na długości 40 średnic linę były za małe, aby mogły być przedmiotem analizy.

W związku z tym do dalszych rozważań brano maksymalne wartości liczby pękniętych drutów dla danego poziomu czasu, liczona na długościach równych 50 metrom linę.

Na rys. 1 a - b pokazano przykładowe przebiegi procesów zużycia kilkunastu lin dla 2 urządzeń wyciągowych.

Analizując przyrosty liczby pękniętych drutów na długościach 50 m lin w funkcji czasu pracy stwierdzono, że:

- liczba pękniętych drutów, przy których odkładane były liny nośne, waha się w bardzo szerokich granicach,
- dla tych samych konstrukcji lin pracujących kolejno lub jednocześnie na tych samych urządzeniach, w przypadku urządzeń wielolinowych, otrzymuje się różne przyrosty liczby pękniętych drutów w funkcji czasu,
- czasy pracy lin tych samych konstrukcji, pracujących w tych samych warunkach, znacznie różnią się od siebie,
- odchylenia standardowe czasów pracy są tak duże, że obliczone wartości oczekiwane mogą co najwyżej być przydatne do prognozowania zaopatrzenia przedsiębiorstwa, zjednoczenia itp. na liny określonej konstrukcji, nie mogą natomiast służyć do przewidywania terminu ich wymiany.

Wynika z tego, że zaistniała potrzeba innego podejścia do problemu przewidywania czasu pracy lin. Należy zaznaczyć, że szybki rozwój badań niezawodnościowych i diagnostycznych z jednej strony oraz metod badania i kontroli lin z drugiej, w znacznym stopniu ułatwił rozwiązanie tego zadania.

### 3. Sformułowanie problemu diagnostyki niezawodnościowej lin stalowych

Przyjęty termin: diagnostyka niezawodnościowa lin stalowych wymaga nieco szerszego przedstawienia. Celowym wydaje się najpierw omówienie takich pojęć, jak: badania niezawodnościowe i diagnostyka techniczna. Ogólnie, zarówno eksploatacyjne badania niezawodności, jak i badania diagnostyczne opierają się na pomiarze i polegają na szukaniu korelacji pomiędzy zbiorem pomierzonych sygnałów a zbiorem stanów badanego obiektu.

Diagnostyka techniczna zajmuje się konkretnymi obiektami.

Każdemu kolejnemu pomiarowi przypisuje się określony stan obiektu.

W badaniach diagnostycznych rozpatruje się więc zbiór stanów obiektu, zbiór sygnałów, odwzorowanie zbioru stanów w zbiór sygnałów, przyczyny zakłóceń i ocenę efektywności prowadzonych badań [7]. Natomiast w badaniach niezawodnościowych rozpatrywany obiekt traktowany jest probabilistycznie i otrzymane wyniki "pomiarów" mają sens statystyczny.

Własności początkowe i czynniki wymuszające, działające na liny mają losowy charakter. Procesy zużyciowe zachodzące w linach, na skutek działania czynników wewnętrznych i zewnętrznych, są bardzo złożonymi ciągłymi procesami stochastycznymi. Ogólnie wiadomo, że w przypadku lin, występowanie złomów zmęczeniowych drutów i innych objawów zużycia jest do pewnych granic dopuszczalne. Istniejące i stosowane obecnie metody oceny zużycia, pozwalają na wyznaczenie stanu badanej liny w chwili przeprowadzenia kontroli. Możliwa jest więc analiza objawów zużycia liny /zbioru sygnałów/ bez wnikania w bardzo skomplikowane fizycznie przyzwoite zmiany jej własności [1]. Jest to diagnostyka techniczna lin.



Wyniki okresowych kontroli stanu, tworzą pewien skończony ciąg realizacji ciągłego procesu stochastycznego, jakim jest proces zużycia lin.

Ciąg ten, zwany szeregiem czasowym  $w_j / t/$ , jest uporządkowanym, w kolejności przeprowadzania kontroli, zbiorem wartości wskaźników zużycia, zawierającym informacje o procesie zużycia [1] .

$$w_j / t/ = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn}), \quad (1)$$

gdzie:  $w_{ji}$  - wartość j-tego wskaźnika zużycia, odpowiadająca momentowi kontroli  $t_{ji} / i = 1, 2, \dots, n/$ ,

przy czym:

$$\Delta t = t_{k+1} - t_k = \text{const}, \text{ dla } k = 1, \dots, n-1.$$

Z kumulacyjnego charakteru uszkodzeń lin wynika, że będzie to ciąg nie malejący, względnie nie rosnący, czyli

$$w_{j1} \leq w_{j2} \leq w_{j3} \leq \dots \leq w_{jn-1} \leq w_{jn} \quad (2)$$

względnie

$$w_{j1} \geq w_{j2} \geq w_{j3} \geq \dots \geq w_{jn-1} \geq w_{jn}$$

Zakładając, że wyznaczony, na podstawie analizy uzyskanego szeregu czasowego  $w_j$ , trend rozwoju procesu zużywania się liny będzie się utrzymywał również przez pewien czas w przyszłości, w przypadku gdy znana jest wartość dopuszczalnego poziomu zużycia, można wyznaczyć termin wymiany liny. Możliwość ekstrapolacji aproksymanty funkcji postępującego zużycia /linii trendu/, została udowodniona w pracach [1, 3, 8]. Zostanie także udokumentowana w kolejnych punktach referatu.

Najistotniejszym problemem w badaniach diagnostycznych lin jest znalezienie korelacji między wynikami badań a ich własnościami wytrzymałościowymi i eksploatacyjnymi. W przypadku najprostszym, to znaczy gdy odwzorowanie między wartością liczbową wskaźnika zużycia - wynikiem kontroli a własnościami wytrzymałościowymi i eksploatacyjnymi lin jest wzajemnie jednoznaczne, rozwiązanie zadania diagnostycznego jest proste. Każdemu wynikowi kontroli - elementowi ze zbioru sygnałów odpowiada inna wartość wyznaczonej własności i odwrotnie. W przypadku lin założenie o jednoznaczności odwzorowania oczywiście nie jest spełnione. Wynika to stąd, że dla populacji lin o tej samej konstrukcji i średnicy, dla określonej chwili czasowej, stany lin są zmiennymi losowymi. Poza tym poszczególne stany towarzyszą nie zdeterminowane objawy, ale zespoły objawów zużycia zmęczeniowego, ściernego i korozyjnego, które są również zmiennymi losowymi. Zatem oszacowania własności lin dokonywane na podstawie wyników ich kontroli, wchodzą w zakres badań niezawodnościowych.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy urządzeń transportu linowego, biorąc pod uwagę losowy charakter obciążeń - rys. 2 oraz własności, przyjęto następującą definicję wskaźnika niezawodności lin: "Miarą niezawodności liny stalowej - wskaźnikiem niezawodności jest prawdopodobieństwo,

że różnicą między wartością rzeczywistą siły zrywającej linę o określonej konstrukcji i średnicy, a wartością maksymalnego obciążenia działającego w linie jest większa od zera", czyli:

$$R = P(s_{rz} - s_L > 0) = 1 - P(s_L - s_{rz} < 0) \quad (3)$$

gdzie:  $s_{rz}$  - wartość rzeczywistej siły zrywającej linę,

$s_L$  - wartość siły działającej w linie [1].

Na rysunku 3 pokazano przykładowe rozkłady siły zrywającej  $f_1(s_{rz})$  oraz obciążeń  $f_2(s_L)$ . Wartości oczekiwane oznaczono odpowiednio przez  $E(s_{rz})$  i  $E(s_L)$ .

Jeżeli przez  $f_3(s)$  oznaczymy gęstość prawdopodobieństwa zmiennej  $S = s_L - s_{rz}$ , to

$$R = 1 - \int_0^{\infty} f_3(s) ds \quad (4)$$

Niezawodność liny można wyrazić w zależności od parametrów rozkładów  $f_2(s_L)$  i  $f_1(s_{rz})$ , które odnoszą się do tych samych chwil istnienia liny, określonych np. terminami jej kontroli. Na podstawie wzoru / 4/ można zatem obliczyć niezawodność liny w tych chwilach jej istnienia, dla których wyznaczono  $f_3(s)$ . Jeżeli zmienia się w czasie rozkład wytrzymałości  $f_1(s_{rz})$ , to zmienia się również w czasie niezawodność  $R$ .

Wartość oczekiwaną oraz parametry rozkładu maksymalnych wartości sił działających w linach, należy wyznaczyć doświadczalnie, oddzielnie dla każdej klasy urządzeń. Wartość oczekiwana oraz parametry rozkładu rzeczywistej siły zrywającej linę, powinny być wyznaczone na drodze badań empirycznych oddzielnie dla każdej konstrukcji i średnicy, przy różnych stanach jej zużycia. Wynika z tego, że do oceny stanu liny mogą służyć jedynie te metody kontroli, wyniki których umożliwiają wyznaczenie zależności korelacyjnej pomiędzy siłami zrywającymi liny a wartościami liczbowymi wskaźników zużycia. Funkcja regresji pierwszego rodzaju zmiennej losowej  $s_{rz}$  względem zmiennej losowej  $w_{ji}$ , charakteryzująca zachodzący w linie proces osłabienia, nosi nazwę modelu osłabienia liny.

Matematyczna postać modelu osłabienia wraz z wartościami parametrów regresji estymowanych zależności, stanowią podstawowe składniki wiedzy o procesie zmian wartości sił zrywających liny, w zależności od wyników kontroli jej stanu. Jak już wspomniano warunkiem koniecznym do wyznaczenia momentu wymiany liny a także dokonania prognozy jej czasu pracy jest znajomość granicznych wartości wskaźników zużycia, takich, że każda wartość wskaźnika, zawarta w tych granicach, odpowiada możliwości poprawnej pracy lin określonej konstrukcji i średnicy w określonych warunkach. W ogólnym przypadku, gdy wartość  $j$  - tego wskaźnika przekroczy określone granice nastąpi przejście liny do stanu niezdatności niezależnie od tego, że wartości pozostałych wskaźników zużycia mieszczą się w dopuszczalnych granicach. W chwili obecnej, zgodnie z obowiązującymi przepisami górnicy-

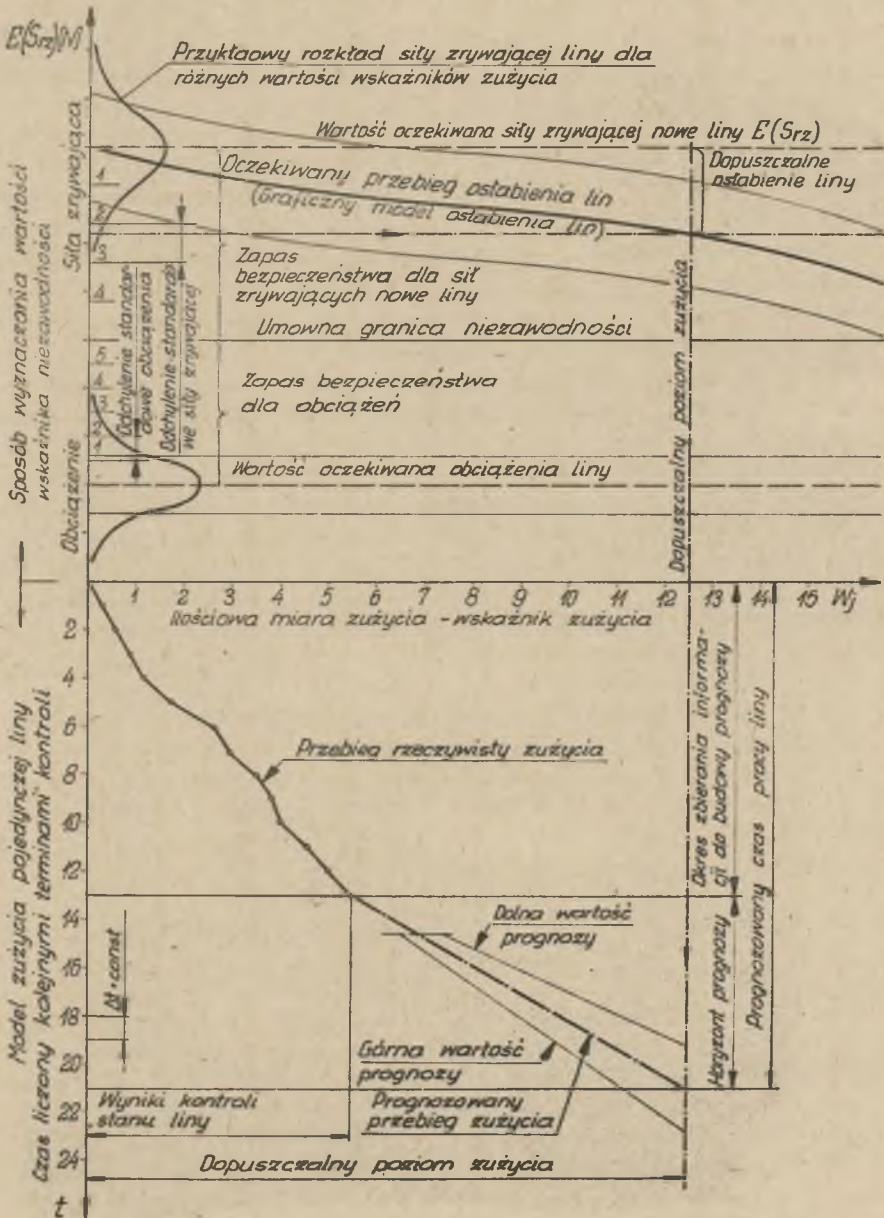
mi, przyjmuje się, że dopuszczalny spadek siły zrywającej na skutek wszystkich rodzajów zużycia wynosi 20 % w stosunku do liny nowej. Podane w przepisach dopuszczalne wartości procentowego spadku siły zrywającej, przyjęte w oparciu o długoletnie doświadczenie, nie zależą od wartości współczynnika bezpieczeństwa. Sposób wyznaczania dopuszczalnej wartości wskaźnika zużycia, opisany w pracy [2], przedstawiono na rys. 4 - górne części modelu. Z dotychczasowych rozważań wynika, że problem oceny własności wytrzymałościowych oraz bezpieczeństwa pracy lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych wiąże się zarówno z diagnostyką, jak i badaniami niezawodnościowymi. Celowe jest więc wprowadzenie terminu diagnostyka niezawodnościowa lin, która będzie zajmowała się analizą informacji uzyskanych w czasie okresowo przeprowadzanych badań, wnioskowaniem na ich podstawie o własnościach wytrzymałościowych i eksploatacyjnych lin, znajdowaniem aproksymanty funkcji postępującego zużycia, wyznaczaniem dopuszczalnej wartości wskaźników zużycia i minimalnej wartości wskaźnika niezawodności R itp. Diagnostyka niezawodnościowa jest oceną statystyczną prawdopodobieństwa poprawnej pracy liny w momencie przeprowadzania kontroli, jak również w określonym przedziale czasowym objętym prognozą. Nie jest ścisłym wyznaczaniem stanów zdatności czy niezdatności liny, gdyż badający posługuje się wartościami oczekiwanymi, prawdopodobieństwami, matematycznymi modelami osłabienia, prognozami statystycznymi i tym podobnymi oszacowaniami.

#### 4. Model prognozowania czasu pracy lin stalowych

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych rozważań, na rys. 4 przedstawiono sposób rozwiązywania problemu prognozowania czasu pracy lin stalowych. Górna część rysunku przedstawia model procesu osłabienia liny oraz sposób wyznaczania dopuszczalnego poziomu zużycia. Model osłabienia wyznacza się w oparciu o zrywanie dużej liczby lin tej samej konstrukcji i średnicy o różnym stopniu zużycia.

Dolna część schematu obrazuje sposób dokonania prognozy przez ekstrapolację funkcji postępującego zużycia /linii trendu/ do momentu osiągnięcia przez linę dopuszczalnego poziomu zużycia. Postać i parametry funkcji postępującego zużycia wyznacza się w oparciu o wyniki kontroli stanu /szereg czasowy/, przeprowadzanych w początkowym okresie eksploatacji liny. Dolna część rysunku przedstawia model procesu zużycia, budowany dla każdej analizowanej liny oddzielnie. W pracy [1] wykazano, że wykorzystując wyniki okresowych kontroli stanu przeprowadzonych w początkowym okresie eksploatacji lin, tworzące ciąg obserwacji, istnieje możliwość wyznaczania parametrów funkcji postępującego zużycia oraz ekstrapolacji tej funkcji na okres przyszły, co przy założeniu znanej wartości dopuszczalnego zużycia jest równoznaczne z prognozą terminu wymiany. Istota prognozy polega zatem na podzieleniu całego czasu eksploatacji liny na dwa okresy: okres zbierania informacji o procesie oraz okres ob-





Rys. 4. Graficzny model przedstawiający sposób prognozowania czasu pracy lin stalowych oraz wyznaczania wartości wskaźnika niezawodności w dowolnej chwili czasowej.

jęty prognozą - rys. 4. Założono przy tym, że proces stochastyczny zużycia można rozłożyć na nielosową funkcję czasu oraz pewien składnik losowy.

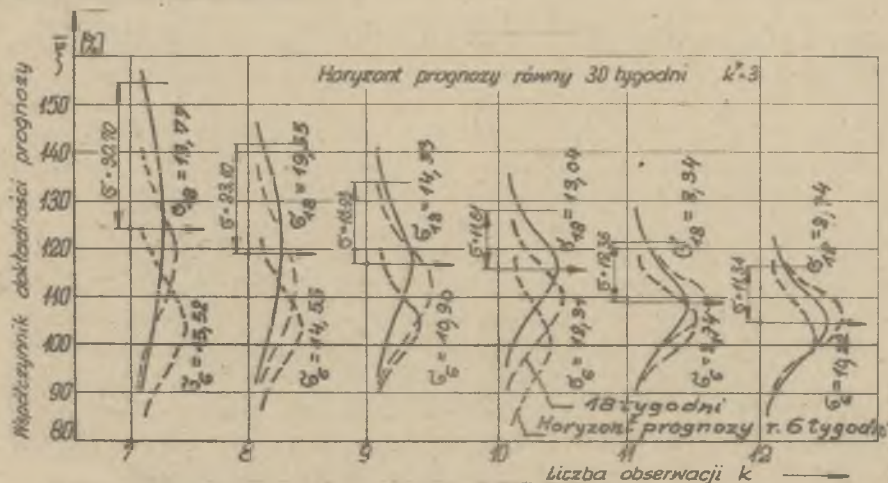
$$W(t) = \varphi(t) + Z, \quad \{5\}$$

gdzie:  $\varphi(t)$  - pewna nielosowa funkcja czasu,  
 $Z$  - pewien składnik losowy.

Do budowy prognoz statystycznych tego typu mogą być wykorzystane metody znane z ekonometrii [1,6]. Prognoza taka jest możliwa, gdyż spełnione są następujące założenia :

- istnieją metody kontroli, których wyniki charakteryzują stan badanej liny stalowej,
- istnieją kryteria, wg których, w zależności od metody kontroli stanu, można zakwalifikować linę do stanu niezdatności,
- okres eksploatacji, z którego pochodzą początkowe informacje, jest wystarczająco długi na wyznaczenie postaci oraz parametrów funkcji postępującego zużycia,
- funkcja postępującego zużycia jest rosnącą funkcją czasu,
- proces zużycia opisany za pomocą ciągu obserwacji /szeregu czasowego/ obdarzony jest pewną inercją, tzn. do wystąpienia większych zmian wartości wskaźnika zużycia potrzeba dłuższego czasu [1].

W pracach [1,8] wykazano, że do prognozowania przebiegu funkcji postępującego zużycia najlepiej nadaje się metoda wag harmonicznych. W pracy [4] została podana kolejność obliczeń, wg której opracowano program na minikomputer Wang 2200 [8], pozwalający na praktyczne prognozowanie terminu wymiany lin.



Rys. 5. Rozkłady wartości współczynnika dokładności prognozy w zależności od horyzontu prognozy i liczby początkowych kontroli stanu - wyrazów szeregu czasowego.



### 5. Błędy prognoz statystycznych.

O przydatności i zakresie stosowania metody wag harmonicznych do przewidywania czasu pracy lin, w pierwszym rzędzie powinien decydować średni błąd prognozy statystycznej.

W związku z tym pojawiły się pytania dotyczące wpływu następujących czynników na średni błąd prognozy:

- liczby początkowych kontroli stanu  $k$ ,
- horyzontu prognozy /wielokrotności  $\Delta t$ /,
- liczby punktów  $k^*$ , które służą do wyznaczania odcinków liniowych w metodzie wag harmonicznych.

W tym celu opracowano odpowiedni program na minikomputer Wang 2200, umożliwiający wyznaczenie wpływu tych czynników na średni błąd prognozy. Obliczenia wykonano dla lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych o znanych przebiegach zużycia. Ogółem badaniami objęto 160 lin nośnych zarówno urządzeń jedno- jak i wielolinowych. W oparciu o opracowany program wyznaczono linię trendu przy początkowej minimalnej liczbie informacji  $k = 7$ , którą przedłużano na określoną liczbę przedziałów czasowych w przód, przy czym odcinki liniowe potrzebne do wyznaczenia aproksymanty linii trendu znajdowano kolejno dla  $k^* = 3, 4, 5$  punktów. Następnie zwiększano liczbę początkowych informacji  $k$  o jedną i powtarzano obliczenia.

Elementarny przedział czasowy przyjęto:  $\Delta t = 6$  tygodni.

Każdą prognozowaną wartość wskaźnika zużycia porównywano z wartością rzeczywistą i obliczano błąd prognozy oraz współczynnik dokładności prognozy, wyrażane w procentach wg następujących wzorów:

Błąd prognozy:

$$\epsilon = \frac{W_{rz} - W_p}{W_{rz}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Współczynnik dokładności prognozy:

$$\xi = \left( 1 - \frac{W_{rz} - W_p}{W_{rz}} \right) \cdot 100 \% \quad (7)$$

gdzie:  $W_{rz}$  i  $W_p$  - odpowiednio rzeczywista i prognozowana wartość wskaźnika zużycia [1,3] .

Wyniki obliczeń opracowano statystycznie, traktując wartości współczynnika dokładności prognozy jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym, zależne od:

- liczby początkowych kontroli stanu,
- horyzontu prognozy,
- liczby punktów aproksymowanych odcinkami liniowymi.

Przy takim założeniu zweryfikowanym statystycznie, o dokładności metody prognozowania świadczy wartość oczekiwana współczynnika  $\xi$ , a także jego odchylenie standardowe obliczone dla konkretnych wartości

liczby początkowych informacji i horyzontu prognozy. Całość uzyskanych wyników została zamieszczona w pracach [1, 3, 8]. Na rys 5., pokazano przykładowo wykres obrazujący wpływ podanych wyżej parametrów na dokładność prognoz statystycznych stanu lin stalowych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że błędy prognoz oraz odchylenia standardowe współczynników dokładności prognozy maleją w miarę wzrostu liczby początkowych informacji "k". Jednak dla  $k \gg 10$  odchylenia standardowe i wartości oczekiwane współczynnika dokładności prognozy praktycznie nie ulegają zmianie. Stwierdzony również został istotny wpływ horyzontu prognozy na dokładność prognoz statystycznych. Praktycznie liczba początkowych informacji, począwszy od której można prognozować stan liny, powinna wynosić około 10 wyrazów szeregu czasowego.

#### 6. Metody kontroli stanu lin stalowych.

Praktyczne znaczenie przyjętego terminu diagnostyki niezawodnościowej oraz wykorzystanie przedstawionej metody prognozowania czasu pracy lin w przemyśle uzależniona jest od istniejących metod kontroli i badania stanu lin. Z przeprowadzonych rozważań teoretycznych oraz z przyjętej definicji diagnostyki niezawodnościowej lin stalowych wynika, że do prognozowania czasu pracy mogą być wykorzystane te metody kontroli stanu, które spełniają następujące podstawowe warunki:

- zastosowane metody muszą umożliwiać wyznaczanie zależności korelacyjnych pomiędzy siłami zrywającymi liny a wartościami liczbowymi wskaźników zużycia,
- wskaźniki zużycia muszą być wyrażone za pomocą jednoznacznie interpretowanych wartości liczbowych,
- badania powinny obejmować możliwie całą długość liny,
- metoda powinna być prosta, a czas badania krótki z uwagi na wzrastającą liczbę i długość jednorazowo badanych lin,
- powinna istnieć możliwość przeprowadzania częstych kontroli, gdyż liczba wyrazów szeregu czasowego, uzyskanych w początkowym okresie eksploatacji liny, musi być dostatecznie duża do wyznaczenia linii trendu,
- zastosowana aparatura musi mieć stabilne wskazania w funkcji czasu.

Aktualnie stosowane oraz rozwijane są metody oceny stanu, które opierają się o badania:

- wizualne, przeprowadzane bez lub przy pomocy prostych przyrządów pomiarowych /suwmiarka, metr itp./,
- magnetyczne,
- wytrzymałościowe, przeprowadzane na próbkach pobranych z eksploatacyjnej liny, które jednak nie mogą służyć do budowy prognoz statystycznych stanu lin [1].

Metoda wizualna pozwala na ilościowe wyznaczanie osłabienia w oparciu o zewnętrzny wygląd liny - przede wszystkim pęknięcia zewnętrzne. Praktycznie nie daje ona możliwości zaobserwowania pęknięć i korozji wewnętrznej. Zwiększenie długości jednorazowo badanych lin tą metodą nie tylko przedłuża czas trwania kontroli wizualnej ale także, z uwagi na zwię-

czenie osoby kontrolującej może spowodować obniżenie dokładności badań. Wad tych nie posiadają badania magnetyczne. Opracowana w Akademii Górniczo-Hutniczej aparatura do badań magnetycznych pozwala już obecnie na powszechne zastosowanie tych badań i oparcie się na ich wynikach przy wyznaczaniu przebiegów zużycia lin. Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń [1,5] stwierdzono, że do budowy modeli osłabienia lin oraz wyznaczania parametrów funkcji postępującego zużycia /linii trendu/ mogą służyć następujące wskaźniki zużycia:

- liczba pękniętych drutów liczona na określonej długości liny,
- suma wskazań zapisu impulsowego defektografów do badań magnetycznych MD-6 i MD-8,
- wartość wskazań integratora defektografu do badań magnetycznych MD-8.

Nie stwierdzono natomiast zależności korelacyjnych pomiędzy spadkiem siły zrywającej, a zmianą średnicy liny oraz wartościami modułów sprężystości [1] .

Z uwagi na stale wzrastającą długość badanych lin, przy równoczesnej tendencji do przedłużania czasu pracy szybów, szczególnie istotny jest problem skracania czasu badań. W przypadku metody magnetycznej skrócenie czasu badań można osiągnąć przez:

- zwiększenie szybkości przemieszczenia się liny względem magnesu,
- zastosowanie kilku magnesów oraz szybkie ich mocowanie na linach,
- zastosowanie magnetofonu pomiarowego,
- zastosowanie defektoskopu cyfrowego, którego zasada polega na liczeniu przekroczeń uszkodzeń o określonej wartości na określonym odcinku [5,8].

Podane sposoby są opracowywane, rozwijane i weryfikowane w Środowiskowym Laboratorium Badania Lin Stalowych i Urządzeń Transportu Linowego AGH, którego kierownikiem jest prof. dr hab.inż. Juliusz Stachurski. W wyniku tych prac zostały opracowane nowe typy głowic pomiarowych, defektografów i defektoskopów magnetycznych, metody badawcze, np. metoda impulsowo-cyfrowa itd. Prowadzone są również badania zmierzające do wyznaczenia strefy osłabienia lin, dopuszczalnych wartości wskaźników zużycia, sił w linaach, minimalnych wartości wskaźnika niezawodności lin itd. Dotychczasowe pozytywne wyniki tych prac oraz aktualnie wprowadzony obowiązek badań magnetycznych lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych wskazują na możliwość i celowość wykorzystania wyników badań magnetycznych do prognozowania czasu pracy lin.

## 7. Wnioski.

1. Diagnostyka niezawodnościowa jest oceną statystyczną prawdopodobieństwa poprawnej pracy lin w momencie przeprowadzania kontroli, jak również w określonym przedziale czasowym objętym prognozą. Zajmuje się analizą informacji uzyskanych w czasie okresowo przeprowadzanych badań, wnioskowaniem na ich podstawie o własnościach wytrzymałościowych, wyznaczaniem



- aprosymanty funkcji postępującego zużycia lin, wyznaczaniem dopuszczalnej wartości wskaźników zużycia, minimalnej wartości wskaźnika niezawodności, dokładności prognoz statystycznych przebiegu zużycia itd.
2. Czasy eksploatacji lin tej samej konstrukcji, pracujących w tych samych lub podobnych urządzeniach wyciągowych, różnią się od siebie często o kilkaset procent. Każdą linię należy traktować oddzielnie, a przebieg jej zużycia, który jest ciągłym procesem stochastycznym, podawać analizie statystycznej.
  3. Na podstawie wyników okresowych badań lin, przeprowadzonych w początkowym okresie eksploatacji, można oszacować funkcję postępującego zużycia /linię trendu/. Ekstrapolacja aproksymanty tej funkcji na okres przyszły, do momentu osiągnięcia przez wskaźnik zużycia dopuszczalnej wartości, jest równoznaczna z wyznaczaniem terminu wymiany liny.
  4. Analiza błędów prognoz statystycznych wykazała, że metoda wag harmonicznych może służyć do prognozowania zużycia lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych. Minimalna liczba wyrazów szeregu czasowego zużycia powinna wynosić około 10. Opracowany i zamieszczony w artykule program na maszynę cyfrową Wang 2200 służy do prognozowania :
    - przyrostu wartości wskaźnika zużycia między kolejnymi kontrolami,
    - wartości wskaźnika zużycia w dowolnej chwili czasowej,
    - całkowitej liczby przedziałów czasowych do chwili osiągnięcia przez linię dopuszczalnej wartości wskaźnika zużycia.
  5. Do budowy prognoz statystycznych mogą służyć następujące wskaźniki zużycia:
    - liczba pękniętych drutów liczona na określonej długości liny,
    - suma zapisu defektografu do badań magnetycznych MD-6, MD-7 i MD-8,
    - wartość wskazań integratora defektografu MD-8.
  6. Warunkiem efektywnego wykorzystania wyników badań magnetycznych do oceny własności lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych oraz ich niezawodności jest wyznaczenie, dla określonych konstrukcji i średnic, zależności korelacyjnych między wynikami badań a wartościami rzeczywistych sił zrywających.
  7. Należy kontynuować prace nad nowymi rozwiązaniami aparatury do badań magnetycznych, szczególnie nad defektoskopem cyfrowym. Równie istotne jest wyznaczenie strefy osłabienia liny, dopuszczalnych wartości wskaźników zużycia, minimalnych wartości wskaźników niezawodności itd. Problemy te są aktualnie rozwiązywane w Środowiskowym Laboratorium Badania Lin Stalowych i Urządzeń Transportu Linowego AGH.
  8. Wydaje się celowe wykorzystanie zaproponowanej metody prognozowania oraz opracowanego programu na minikomputer Wang 2200 do przewidywania terminu wymiany innych elementów górniczego systemu maszynowego, których zużycie ma charakter kumulacyjny.

## LITERATURA

1. Hansel J.: Podstawy teoretyczne prognozowania czasu pracy lin stalowych. Zeszyty Naukowe AGH. Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa Z.84. Kraków 1977.
2. Hansel J.: Metoda wyznaczania granicznych wartości wskaźników zużycia lin stalowych. Zeszyty Naukowe AGH. Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa Z. 98. Kraków 1977.
3. Hansel J.: Ocena dokładności prognoz statystycznych zużycia lin stalowych. Konferencja naukowo-techniczna pt. Sułcasny staw, a perspektywy výskumu, výroby a použitia ocelových lán. Hlohovec 1978.
4. Hellwig Z.: Schemat budowy prognozy statystycznej metodą wag harmoniczných. Przegląd Statystyczny Z.2.1967.
5. Kawecki Z., Stachurski J., Hansel J.: Podstawowe kierunki badań Instytutu Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki AGH w Krakowie, dotyczących problemów transportu szybowego. Materiały na sympozjum Komitetu Górnictwa Polskiej Akademii Nauk Sekcji Mechanizacji Górnictwa Katowice-Kraków, październik 1978.
6. Stachurski J., Hansel J., Batko W.: Computing operation time of steel ropes by methods of estimating the progressive wear out function. The first International Symposium on Non Destructive Testing of Steel Ropes. Crakow 1974.
7. Żóitowski J., Baranowski A. Ocena niezawodności obiektu jako jeden ze sposobów jego diagnostyki. Materiały na "Szkołę Zimową-78" pt. § "Diagnostyka niezawodnościowa systemów technicznych". OPT Katowice 1978.
8. Opracowanie nowych metod kontroli lin stalowych dla zwiększenia ich niezawodności przy podwyższonej trwałości lin. Prace naukowo-badawcze Środowiskowego Laboratorium Badania Lin Stalowych i Urządzeń Transportu Linowego AGH, Kraków 1977.

## ДИАГНОСТИКА НАДЕЖНОСТИ НЕСУЩИХ КАНАТОВ ГОРНЫХ ВЫТЯЖНЫХ

## УСТРОЙСТВ

Резюме

В статье представлена проблема диагностики надёжности несущих канатов горных вытяжных устройств, а также обсуждаются теоретические основы разработанного метода предвидения срока их замены. Дается тоже программа для счётно-решающей машины, позволяющая практически прогнозировать сроки замены стальных канатов на основании результатов периодического контроля их состояния, проведённого в начальном этапе эксплуатации канатов.

RELIABILITY DIAGNOSIS OF HOISTING ROPES AT THE WINDING  
WINDING INSTALLATIONS

Summary

In the paper the problem of the reliability diagnosis of winding ropes has been laid down and the theoretical basis of the method of predicting the discarding time of the rope has been described. It has also a program been given for the computer for practical application of predicting the discarding time based on the results of periodic controls of the rope made in the initial period of rope operation.