ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: GÓRNICTWO z. 113 Nr kol. 698

Jan ORLACZ

PROBLEMY TRWAŁOŚCI MASZYN I URZĄDZEŃ GÓRNICZYCH

Streszczenie. Rozpatrzono problemy wyboru wskaźników trwałości maszyn i urządzeń górniczych w świetle norm państwowych. Stwierdzono, że obowiązujące normy zawierają informacje i metody wystarczające do ocen trwałości maszyn górniczych.

1. Wstęp

Problematyka trwałości maszyn górniczych, jak również trwałości maszyn w ogóle, traktowana jest w kraju jako składnik - jedno z kryteriów ocen jakości wyrobów.

W tym kontekście problemy trwałości usankcjonowane zostały państwowymi aktami prawnymi:

- Uchwała nr 206 RM z dnia 30 września 1976 r. w sprawie poprawy jakości wyrobów przemysłowych,
- Uchwała Nr 134 RM z dnia 7 września 1977 roku w sprawie zasad przygotowania i uruchomienia produkcji nowych i zmodernizowanych wyrobów przemysłowych [7],
- Uchwała nr 137 RM z dnia 9 września 1977 roku w sprawie jednolitych zasad kwalifikacji jakości i oznaczania wyrobów [8],
- Norma PN-77/N-04005 [1],
- Norma PN-97/N-04010 [2],

a także dokumentami międzynarodowymi RWPG [4, 5], bez wyodrębniania kryteriów i metodologii oceny trwałości.

Akty i dokumenty resortowe, traktujące o problematyce jakości, stanowią:

- Zarządzenie nr 21 MG [14],
- Opracowanie GIG nr 204.02.04 [6].

Problemy trwałości można więc rozpatrywać tylko w konwencjach wynikających z przytoczonego powyżej stanu formalno-prawnego.

Próby opracowania metodyk oceny jakości maszyn górniczych podjęto znacznie wcześniej adaptując zasady kwalifikowania wyrobów do trzech grup nowoczesności: A, B i C.

Równolegle Rada Naukowo-Techniczna ds. Podziemnej Eksploatacji Stałej Komisji Przemysłu Węglowego RWPG z początkiem lat siedemdziesiątych zaini-

cjowała i rozwinęła opracowanie ilościowej metodyki oceny jakości [5]. W ciągu kilku lat metodyka ta przechodziła kolejne modyfikacje do chwili ostatecznego zatwierdzenia na 47 posiedzeniu Komisji, w czerwcu 1976 roku. Jako wskaźnik trwałości przyjęto tu "resurs pracy do naprawy głównej".

Próbę modyfikacji metodyki RWPG stanowi opracowanie GIG [6], wykonane w ramach realizacji problemu resortowego 203 pt. "Opracowanie wytycznych dla ustalenia kryteriów oceny poziomu technicznego i jakości grup maszyn i urządzeń górniczych" z kwietnia 1978 roku. W opracowaniu tym kryteria trwałości nie są uwzględnione. Już z powyższej skrótowej relacji rysuje się stopień formalnej złożoności problemów ocen trwałości, pomimo że zostały one opracowane metodologicznie. Złożoność ta rośnie niewspółmiernie, jeśliby uwzględnić równolegle problemy niezawodności.

Tymczasem wg statystyki COIG [10] liczba uszkodzeń wszystkich maszyn ścianowych (kombajny, obudowy, przenośniki), pracujących w PW, wyniosła w lipcu 79 r. 3639, a czas zużyty na ich naprawy 11 373 rh, natomiast w ciągu 8 miesięcy 79 r. liczby te przedstawiały się odpowiednio: 26 726 uszkodzeń i 77 471 rh (system MG-IEAD arkusz AT 5222/1 str. 045).

2. Kryteria i wskaźniki trwałości

Spośród licznych definicji i pojęć trwałości [13] do dalszych rozważań przyjęto definicję werbalną najbliższą zrozumieniu intuicyjnemu: "Trwałość jest cechą obiektu polegającą na wykonywaniu zadanych funkcji do osiągnięcia pewnego stanu granicznego lub pierwszego uszkodzenia". Charakterystyczną cechą pojęcia trwałości w odróżnieniu od niezawodności jest to, że mierniki trwałości wyrażone są w jednostkach fizycznych, np.: liczba cykli, czas, droga, ilość pracy lub masy itp.

2.1. Wskaźniki trwałości

Różnorodność warunków pracy, przeznaczenia i celów sprawia, że nie ma jednego uniwersalnego miernika trwałości.

W zależności od typu obiektu technicznego i modelu eksploatacji w normie PN-77/N-04005 [1], a także w normach: GOST-13388-67 i GOST-16503-70 przewidziano kilka wskaźników różniących się nomenklaturą i zastosowaniem, które zestawiono w tablicy 1.

Zestawione w tablicy 1 pojęcia i definicje, ścisłe z punktu widzenia metodologicznego i naukowego, wykazują cechę, streszczającą się w wymaganiu oszacowania statycznego każdego wskaźnika na podstawie badań fizycznych próbki (kolumna 3 tablicy 1) z wyjątkiem oczywiście zasobu ustalonego Z_u (poz. 2.1.2).

Oznacza to prawne wymaganie przeprowadzenia badań eksploatacyjnych trwałości, których procedury (plan badań) zostały ujęte normą PN-77/N-04021 [3]. Ze względu na merytoryczną złożoność tych procesów oraz specyfikę te-

Tablica 1

Wskaźniki trwałości
- wypis z PN-77/N-04005 obowiązującej od 1 stycznia 1978 roku
Dz. Norma i Miar nr 6/1977 poz. 17

Oznaczenie	Określenie wskaźnika z populacji	Oszacowanie statystyczne z próbki	Objaśnienia x) Zastosowanie
1	2	3	4
2.1.1. <u>Średni kalendarzowy czas eksploatacji</u>			
θ_e	Wartość oczekiwana zmiennej losowej T_e oznaczającej długość kalendarzowego okresu czasu od chwili rozpoczęcia eksploatacji do chwili wycofania obiektu z eksploatacji $\theta_e = E(T_e) = \int_0^\infty t f_e(t)dt$	W przypadku gdy badania prowadzi się do chwili wycofania z eksploatacji wszystkich obiektów $\theta_e = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i,$ w którym: n - liczba badanych obiektów, t_i - czas (w jednostkach kalendarzowych), po którego upływie nastąpiło wycofanie i-tego obiektu z eksploatacji	Wskaźnik dot. zarówno obiektów naprawialnych, jak i nienaprawialnych x) Urządzenia stacjonarne: - wieże szybowe, - konstrukcje budynków, - maszyny wyciągowe (kompletne) - wentylatory główne itp.
2.1.2. <u>Zasób ustalony</u>			
Z_u	Ilość pracy, jaką może wykonać obiekt, przyjęta umownie, po której wykonaniu należy obiekt wycofać z eksploatacji.	x) Wskaźnik ustalony arbitralnie stanowi postulat, do spełnienia którego wartość liczbowa powinna odpowiadać założonemu celowi gospodarczemu lub technicznemu	Jak wyżej: wartości wskaźnika Z_u powinny być podane w dokumentacji techn. obiektu x) Wszystkie typy maszyn górniczych jako całość (kompletne)

cd. tablicy 1

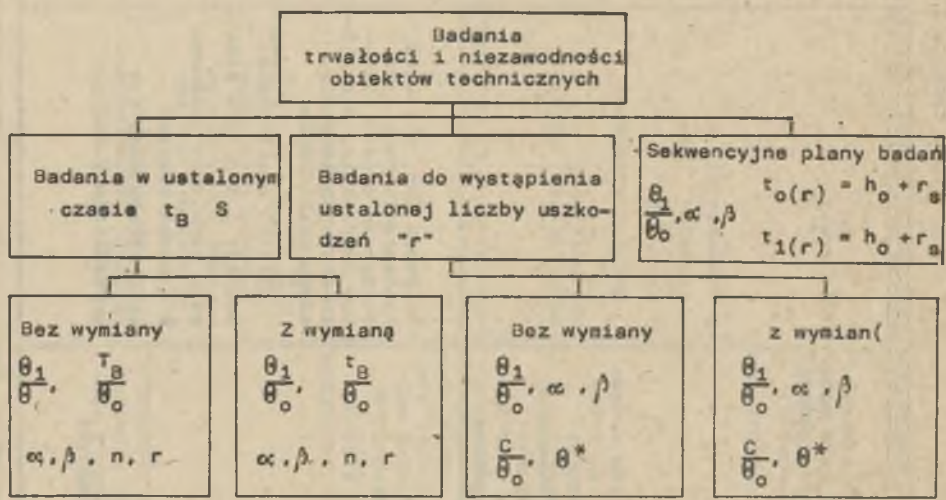
1	2	3	4
2.1.3. <u>Średni zasób</u>			
θ_s	Wartość oczekiwana zmiennej losowej T_s oznaczającej ilość pracy, jaką może wykonać obiekt od chwili rozpoczęcia eksploatacji do chwili wycofania go z eksploatacji $\theta_s = E(T) = \int_0^\infty t f_s(t)dt$	W przypadku gdy badania prowadzi się do chwili wycofania z eksploatacji wszystkich obiektów $\theta_s = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i,$ w którym: n - liczba badanych obiektów, t_i - ilość pracy wykonanej przez i-ty obiekt od chwili rozpoczęcia eksploatacji do chwili wycofania go z eksploatacji	Wskaźnik dot. zarówno obiektów naprawialnych, jak i nienaprawialnych x) Podzespoły maszyn: - rynny przenośników, - gwiazdy łańcuchowe, - łańcuchy i ich elementy złączne, - noże kombajnowe
2.1.4. <u>Średni zasób do pierwszej naprawy głównej</u>			
θ_g	Wartość oczekiwana zmiennej losowej T_g oznaczającej ilość pracy, jaką może wykonać obiekt od chwili rozpoczęcia eksploatacji do pierwszej naprawy głównej $\theta_g = E(T_g) = \int_0^\infty t f_g(t)dt$	W przypadku gdy wszystkie obiekty zostaną poddane naprawie gł.: $\theta_g = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n} t_i,$ w którym: n - liczba badanych obiektów, t_i - ilość pracy wykonanej przez i-ty obiekt od chwili rozpoczęcia eksploatacji do pierwszej naprawy głównej.	Wskaźnik dot. obiektów naprawialnych x) Maszyny ścianowe: - kombajny, - obudowy, - przenośniki.

cd. tablicy 1

1	2	3	4
2.1.5. <u>Średni zasób między dwiema naprawami głównymi</u> θ_m	Wartość oczekiwana zmiennej losowej T_m oznaczającej ilość pracy, którą może wykonać obiekt od chwili rozpoczęcia eksploatacji po kolejnej naprawie gł. do następnej naprawy głównej. $\theta_m = E(T_m) = \int_0^\infty t f_m(t)dt$	W przypadku prowadzenia badań do (r+1)-szej naprawy głównej wszystkich obiektów $\theta_m = \frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r} t_i$ w tym: n_r - liczba obiektów poddanych badaniu po r-tej naprawie głównej, t_i - ilość pracy wykonanej przez i-ty obiekt między r-tą a (r+1)-szą naprawą główną	Jak wyżej
2.1.6. <u>Zasób γ - procentowy</u> γ	Ilość pracy, którą może wykonać obiekt odpowiadająca γ-procentom prawdopodobieństwa poprawnej pracy, tzn. jest to rozwiązanie równania $R(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}$	Oszacowaniem jest taka wartość $t = t_\gamma$ argumentu funkcji $R(t)$, dla której $R(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}$	Wskaźnik dot. obiektów nienaprawialnych może służyć do opisów obiektów naprawialn. ale tylko w przypadku pierwszego uszkodzenia x) Silniki elektryczne: Osprzęt i armatura elekt. oraz kompleksy ścienowa w wypadku systemu eksploatacyjnego jak w rozdziale 2.2.2

x) Uzupełnienia i komentarze wprowadzone przez autora celem dostosowania treści ogólnej do potrzeb problematyki maszyn górniczych.

matyki bardzo daleko wykraczającej poza ramy niniejszej pracy (wymaga cyklu opracowań specjalnych, gdyż sama tylko norma [3] liczy 23 strony), ograniczono się jedynie do ilustracji schematycznej na rys. 1.



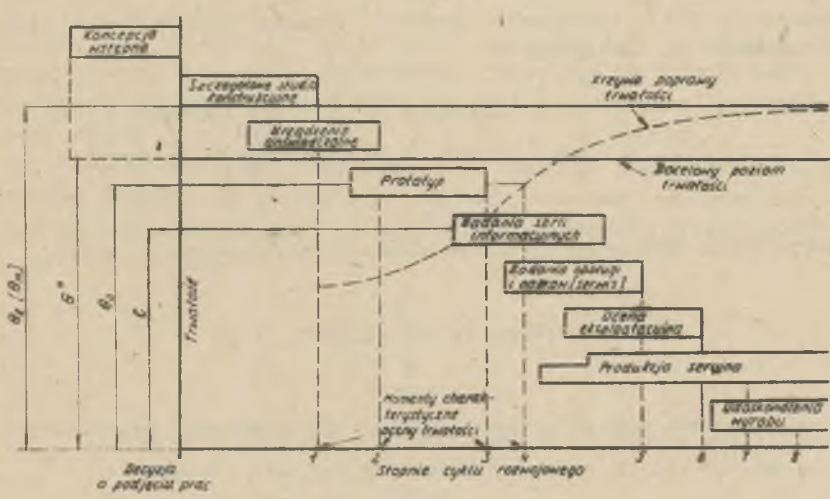
Rys. 1. Schemat procedur badawczych (atestacji) trwałości maszyn
θ_o - kwalifikacyjny czas poprawnej pracy, θ_1 - dyskwalifikujący czas poprawnej pracy, α - ryzyko producenta (0,01-0,3), β - ryzyko użytkownika (0,01-0,5), n - liczność próbki, C - stała krytyczna, θ^* - oszacowany średni czas poprawnej pracy

Należy podkreślić, że wzmiankowane wyżej plany dotyczą wyłącznie obiektów (maszyn) produkowanych seryjnie. Wybór próbek tych obiektów do badań musi się odbywać zgodnie z normą PN/N-03010.

Z punktu widzenia efektywności ekonomicznej i czasochłonności prac zrelacjonowane procedury oceniane są jako kosztowne ze względu na liczebność próbek n = 2-11035 i długotrwałość t_B/θ_o = 1/3-1/100 przy θ_o = 5000-100 000 h.

Dlatego współczesnym, dominującym problemem naukowo-technicznym i ekonomicznym stały się badania przyspieszone trwałości, dotychczas niestety nigdzie na świecie nie opanowane w sposób uniwersalny [11] i formalnie (prawnie) nie zalegalizowane. Stąd nawet bardzo awangardowe przemysły o najwyższym poziomie technicznym i technologicznym stosują w praktyce koncepcje permanentnego doskonalenia trwałości obiektów już w czasie ich eksploatacji [12], jak to pokazano na rys. 2, przestrzegając jednak skrupulatnie relacje $\theta^* \geq c$.

Ograniczeniem asymptotycznym krzywej trwałości jest wartość θ_E - ograniczenie ekonomiczne opłacalności lub wartość θ_M - wynikająca z wymogów starzenia moralnego obiektu, stanowiących kryteria nietechniczne.



Rys. 2. Schemat poprawy trwałości w kolejnych etapach powstawania nowego urządzenia

2.2. Kryteria wyboru wskaźników trwałości

Ograniczając się do definicji jakości wyrobu przemysłowego [7 p. I 6] należy wybrać miernik lub zbiór mierników charakteryzujących stopień spełnienia przez wyrób przemysłowy określonych funkcji użytkowych, wyrażonych jako cechy mierzalne [3 p. 2.30]. Wskaźniki trwałości wchodzące do tego zbioru muszą być zgodne z [1]. Wyboru wskaźników można dokonać posługując się tablicą nr 1, z tym że decydujące kryterium stanowią wymagania wynikające z modelu eksploatacyjnego, w którym pracuje obiekt (maszyna górnicza).

2.2.1. Wobec prognoz koncentracji wydobycia do około 2200 Mg/dobę i wyższych dla jednego zestawu (kompleksu) maszyn ścianowych, eksploatowanych w trójzmianowym systemie pracy, optymalny docelowy model eksploatacyjny polegałby na wybieraniu ścian o wybiegach 1000 do 1500 m zestawami maszyn, które nie wymagałyby napraw bieżących w czasie tego okresu eksploatacji.

Naprawy główne (renowacje) realizowane byłyby po wykonaniu zadania, tj. wybraniu pola, w specjalistycznych zakładach naprawczych metodami przemysłowymi, a do wyposażenia nowo uruchomionych ścian stosowany byłby wyłącznie sprzęt nowy lub odnowiony tymi metodami.

Z powyższego wynika, że wybór wskaźników trwałości (a także niezawodności) tych urządzeń podlegałby kryterium wg normy [2] ważnym dla klasy: "obiektów dwustanowych nienaprawialnych, pracujących do wykonania określonych zadań, które mogą być kontynuowane po wymianie uszkodzonego obiektu na nowy".

Funkcjonał $\Phi(t)$ realizacji procesu losowego stanów takich obiektów $X_i(t)$ określa się następująco:

$$\Phi(t) = \begin{cases} t - \text{jeżeli } X_i(t) = 1 \text{ dla każdego } i \\ 0 - \text{jeżeli } X_i(t) = 0 \text{ dla dowolnego } i \end{cases} \quad i = 1,2,\ldots N \tag{1}$$

Wartość średnia będzie wartością oczekiwaną czasu poprawnej pracy:

$$\theta = \left[E\Phi(t)\right] = \int_0^{\bar{T}} tf(d)dt \tag{2}$$

a jej estymatorem, wystarczająco dokładnym dla rozwiązań technicznych będzie:

$$\theta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i. \tag{3}$$

Zgodnie z poz. 2.1.11 tablicy 1 można przyjąć

$$\theta = \theta_g, \tag{4}$$

co jest całkowicie zgodne z normą [1] i wybór taki jest przewidziany normą [2] do opisu stanów obiektów produkowanych masowo lub seryjnie o kodzie 1131.

2.2.2. Model eksploatacyjny scharakteryzowany w p. 2.2.1 wymaga dotrzymania bardzo ostrych reżimów produkcyjnych w fabrykach maszyn i eksploatacyjnych w kopalniach, co z punktu widzenia krajowych realiów technicznych i organizacji produkcji górniczej nie jest możliwe do spełnienia.

Wymiany uszkodzonych elementów maszyn ścianowych, takich jak: noże kombajnowe, rozdzielacze i bloki zaworowe obudów zmechanizowanych, elementy złączne łańcuchów górniczych, gwiazdy napędowe przenośników zgrzebłowych itp., należy przyjąć jako normalne czynności procesu obsługi sprzętu, których nie da się wyeliminować w najbliższej możliwej do prognozowania przyszłości.

Minimalizacji strat produkcyjnych, wynikających z tego stanu charakterystyk trwałościowych maszyn górniczych, można poszukiwać w zorganizowaniu systemu wymian zapobiegawczych wzmienkowych wyżej elementów oraz systematycznym prowadzeniu prac z zakresu rozwiązań inżynierskich poprawiających trwałość elementów i zespołów maszyn, które wskazano przykładowo poniżej w artykule [15].

Należy więc wprowadzić modyfikację ocen trwałościowych tej grupy maszyn górniczych (kopleksów ścianowych), traktując je jako "obiekty dwustanowe naprawialne, pracujące z losowymi przerwami do czasu wykonania określonych zadań" ([2] kod 2333).

Możliwość kontynuowania zadania po zabiegu profilaktycznym lub po wystąpieniu uszkodzenia uzależniona jest od czasu naprawy, przy czym przeciętne wartości zmiennych czasu napraw lub zabiegów profilaktycznych muszą spełniać warunki:

$$T_z = T_n \leq T_{kryt}. \tag{5}$$

gdzie:

T_{kryt} - zmienna losowa charakterystyczna dla warunków górniczo-eksploatacyjnych, oznaczająca dopuszczalny czas postoju maszyny wynikający z organizacji pracy.

Estymatorami wartości oczekiwanych zmiennych losowych T_n i T_z będą θ_n i θ_z wg normy [1] odpowiednio: poz. 2.2.2 i poz. 2.2.3. Reprezentatywnym dla takiego modelu eksploatacji będzie wskaźnik dogodny do wyznaczania w czasie badań atestacyjnych i zrozumiały dla personelu służb maszynowych kopalń.

"Średni zasób do pierwszej naprawy głównej" θ_g tablica 1 poz. 2.1.4 jako wartość oczekiwana $E(T_g)$, przy czym należałoby zachować relacje

$$\theta_g > Z_u \tag{6}$$

Zasób ustalony Z_u (poz. 2.1.2 tablicy 1), jako przyjęta umownie ilość pracy, np. $Z_u = 1T_g$, po której wykonaniu należy obiekt wycofać z eksploatacji, powinien być podawany w charakterystykach technicznych maszyn na podstawie zatwierdzonych przez kierownictwo resortu koncepcji eksploatacyjnych.

Rozwiązanie takie daje możliwość ujednolicenia wymagań dla wszystkich typów maszyn wchodzących w skład kompleksów ścianowych, wyrażonych syntetycznym i przydatnym dla kierownictwa gospodarczego oraz personelu wykonawczego wskaźnikiem, będącym niczym innym jak obiegowym pojęciem ilości wydobycia z jednego pola (ściany) w czasie od rozpoczęcia do zakończenia wybierania. Wskaźnik ten oprócz tego może być precyzyjnie uwzględniony przez służby mierniczo-geologiczne przy projektowaniu rozcięcia pokładów. Bardziej precyzyjne byłoby przyjęcie kryterium zasobu γ-procentowego (poz. 2.1.6 tablicy 1) t_γ, w miejscu Z_u, z zachowaniem relacji [6], po zdobyciu niezbędnych danych statystycznych, np. w drodze modyfikacji struktury systemu informatycznego I - EAD, Vademecum MS.

3. Podsumowanie

3.1. Obowiązujące normy państwowe, dotyczące trwałości obiektów technicznych, zawierają metodologie i metody wystarczające do ocen i atestacji trwałości maszyn górniczych.

3.2. Przewidziane normami PN wskaźniki trwałości mają charakter uniwersalny i mogą służyć do ocen wszystkich typów maszyn i urządzeń górniczych, a także do ocen zestawów (kompleksów) budowanych z tych maszyn.

3.3. Wskaźniki trwałości przewidziane normami mogą być dobierane elastycznie w zależności od koncepcji eksploatacyjnej i funkcji poszczególnych maszyn, bez utraty poprawności merytorycznej i z zachowaniem jednolitości systemowej.

3.4. Uzależnienie wskaźników od jednego celu głównego, wyrażonego ważną dla kierownictwa gospodarczego i załóg ilością produkcji,stwarza dobrą szansę rozpowszechnienia przedstawionych metod ocen trwałości.

3.5. Do ocen trwałości przyjmowane mogą być tylko wartości sprawdzone eksperymentalnie, a następnie porównywane z wielkościami założonymi w znamionowych charakterystykach maszyn.

3.6. Dla branży maszyn górniczych przydatny jest model permanentnego doskonalenia trwałości.

LITERATURA

[1] PN-77/N-04005 "Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności.Nazwy, określenia i symbole". PKN, Warszawa 1977.

[2] PN-77/N-04010 "Niezawodność w technice. Wybór wskaźników niezawodności". PKN, Warszawa 1977.

[3] PN-77/N-04021 "Niezawodność w technice. Plany badania w przypadku rozkładu wykładniczego".

[4] RWPG "Ocenka urownia kaczestwa gornoszachtnogo oborudowania".Tema 107-3/75. Moskwa 1976.

[5] RWPG "Rekomendacii po ocenkie urawnija kaczestwa gornoszachtnego oborudowania". Tema 107-3/75 Tom I i Tom II. Mamaja 1976.

[6] GIG "Opracowanie wytycznych dla ustalenia kryteriów oceny poziomu technicznego i jakości grup maszyn i urządzeń górniczych" Dokumentacja nr 203.02.04.16 Katowice 1978.

[7] Uchwała nr 134 Rady Ministrów z dnia 7 września 1977 r. w sprawie zasad przygotowania i uruchomienia produkcji nowych i zmodernizowanych wyrobów przemysłowych. Warszawa 1977.

[8] Uchwała nr 137 Rady Ministrów z dnia 9 września 1977 r. w sprawie jednolitych zasad kwalifikacji jakości i oznaczania wyrobów. Warszawa 1977.

[9] Sprawozdanie COPKMG KOMAG nr 3839 "Podniesienie trwałości i niezawodności eksploatacyjnej maszyn i urządzeń ścianowych". Praca nie publikowana. Gliwice 1976.

[10] COIG "Awaryjność maszyn i urządzeń górniczych" nr 1315.Katowice sierpień 1979.

[11] IV Krajowe Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych. Tom V "Niezawodność i trwałość". Sekcja Podstaw Eksploatacji Maszyn PAN. Katowice 1977.

[12] Pieruschka E.: "Relation Between Lifetime Distribution and the Stress Level Causing Failure" LMSD - 8000440. Lockheed Missles and Space Division, Sunnyvale, California NATO Conference in Reliability, 1972.

[13] Dwiliński L., Smalko Z., Jaźwiński J.: "Podstawowe pojęcia i określenia w teorii i technice niezawodności". OPT, Katowice 1973.

[14] Zarządzenie nr 21 Ministra Górnictwa z dnia 31 lipca 1979 r. znak: EM 9/3564/79.

[15] Orlacz J.: "Możliwości podwyższenia trwałości maszyn i urządzeń górniczych za pomocą rozwiązań inżynierskich" Zeszyty Naukowe PPolitechniki Śląskiej, Górnictwo z. 113, Gliwice 1981.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1981 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Antoniak

Проблемы долговечности горных машин и установок

Р е з ю м е

Рассмотрены проблемы выбора показателей долговечности горных машин и установок в свете государственных стандартов. Установлено, что обязывающие стандарты заключают в себе достаточные информации и методы для оценок долговечности горных машин.

Lifetime problems of mining machines and installations

S u m m a r y

The problems of lifetime factors have been disenssed due to regulations of state standards. It has been stated that obligatory standards include information and methods adequate to lifetime evaluation of mining machines and installations.