

Jan ORLACZ

ZASTOSOWANIE BADAŃ PRZYSPIESZONYCH W OCENIE NIEZAWODNOŚCI MASZYN GÓRNICZYCH

Streszczenie. Postulat skracania czasów badań niezawodności obiektów technicznych ma przede wszystkim uzasadnienie ekonomiczne. Z naukowego punktu widzenia najistotniejszym jest zachowanie tego samego modelu uszkodzeń obiektu poddanego obciążeniom eksploatacyjnym i zwiększonym obciążeniem podczas badań przyspieszonych. Istnieje szereg hipotez poprawnego rozwiązania tego zadania, których przykłady zestawiono w artykule. Należy jednak podkreślić, że dotychczas brak jest ogólnie akceptowanej uniwersalnej metodyki badań przyspieszonych.

1. Wprowadzenie

Rozpowszechnione współcześnie badania niezawodności w normalnych warunkach pracy, zwane eksploatacyjnymi metodami badań niezawodności, nie są pozbawione istotnych wad. Obiekty jakościowo dobre odznaczają się między innymi korzystnymi wartościami wskaźników niezawodności. Poddane badaniom w przeciętnych (typowych) środowiskach i działaniu przeciętnych obciążeń, wymagają bardzo długich okresów obserwacji do zebrania reprezentatywnych danych o uszkodzeniach i naprawach, niekiedy wymaga to wielu lat badań. W okresach prac rozwojowych nad nowymi konstrukcjami prowadzenie tak długotrwałych badań nie jest możliwe z wielu względów. Wynika stąd postulat skracania czasu badań do uszkodzenia. Osiąga się to drogą tzw. badań przyspieszonych, polegających na poddawaniu obiektów technicznych obciążeniom znacznie wyższym od normalnie stosowanych.

Problem polega tu na znalezieniu związku pomiędzy czasem pracy do uszkodzenia w normalnych warunkach obciążenia, a czasem pracy, do uszkodzenia pod zwiększonym obciążeniem. Zagadnieniem o podstawowej doniosłości jest zachowanie tego samego modelu uszkodzania się obiektów pod normalnym i zwiększonym obciążeniem, w którym skróceniu ulega jedynie czas pracy do uszkodzenia.

Badania przyspieszone zmieniające mechanizm uszkodzeń są bezwartościowe, gdyż z wyników takich badań nie można wnioskować o zachowaniu się obiektu w normalnych warunkach pracy.

Następnym zagadnieniem o mniejszej doniosłości jest metoda estymacji parametrów normalnej pracy ze zbioru danych uzyskanych w badaniach przyspieszonych.

Problemy związane z zachowaniem mechanizmu uszkodzeń nie zostały dotychczas zadawalająco opracowane. Badania czasów pracy do uszkodzenia prowadzone są dla różnych okresów żywotności obiektów od 3 do 15 lat, przy czym stosuje się najczęściej pewne ekwiwalenty w postaci liczby, cykli obciążeń, ilości wykonanej pracy lub uzyskanej produkcji, wielkości przebytej drogi itp., odpowiadające pewnemu okresowi eksploatacji (np. jeden rok). Wartości liczbowe tych ekwiwalentów ustalane są doświadczalnie.

Dyscypliny podstawowe starają się rozwiązać drugie zagadnienie, dotyczące estymacji parametrów pracy obiektu w normalnych warunkach eksploatacji na podstawie zbioru danych uzyskanych w badaniach przyspieszonych [3]. Istnieje szereg hipotez rozwiązania tego zadania, należy jednak podkreślić, że dotychczas brak jest uogólnionej metody postępowania. Poniżej dokonano przeglądu bardziej rozpowszechnionych hipotez, wskazując równocześnie na ograniczenia ich stosowalności.

2. Niezależność postaci funkcji rozkładu i jej współczynników od obciążenia

Zakłada się stałą intensywność uszkodzeń $\lambda = 1/t$, gdzie: t - średni czas pomiędzy uszkodzeniami. Funkcja gęstości rozkładu będzie miała postać:

$$F(t, \lambda) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

Chcąc uwzględnić wpływ poziomu obciążenia x , można ogólnie napisać, że parametr λ jest funkcją tego obciążenia:

$$\lambda = \lambda(x) \quad (2)$$

Dalsze uproszczenia wynikają z założeń, że postać funkcji rozkładu jak i jej współczynnik wariacji $k = \sigma^2/t$ nie zależą od poziomu obciążenia, jeżeli tylko ograniczymy jego zmienność do pewnego dopuszczalnego przedziału. Wynika stąd że funkcje niezawodności uzyskane w dwóch warunkach obciążenia będą

$$R(x_0, t_0) = R(x, t) \quad (3)$$

W zastosowaniach użytkowych równość ta stosowana jest w postaci jawnej zależności pomiędzy x_0 , x , t_0 i t . Doświadczalnie wykazano, że

dla niektórych obiektów nienaprawialnych, średni czas pracy do uszkodzenia (t) da się opisać wyrażeniem potęgowym odwrotności przyłożonych obciążeń

$$\frac{t}{t_0} = \left(\frac{x_0}{x}\right)^N \quad (4)$$

Wyznaczając moment drugiego rzędu $m_x = 2$ otrzymamy

$$\frac{\sigma_0^2 + t_0^2}{\delta^2 + t^2} = \left[\left(\frac{x_0}{x}\right)^N\right]^2 \quad (5)$$

gdzie:

- t_0 - średni czas do uszkodzenia pod obciążeniem (x_0)
- t - średni czas do uszkodzenia pod obciążeniem (x)
- σ_0 i σ - odchylenia standardowe odpowiednio dla:

t_0 i t

Wykładnik potęgowy N nazywany jest wskaźnikiem przyspieszenia (przebiegu) i wyznaczany doświadczalnie. Przykładowe wartości liczbowe N dla niektórych obiektów technicznych, przedstawiają się następująco:

- łożyska toczne kulkowe $N_x = 4$ (x - obciążenie),
- kondensatory elektrolityczne $N_u = 4,79$ (x - napięcie),
- lampy próżniowe, świetlówki $5 \leq N_p \leq 9$ (x - napięcie żarzenia).

Dla zobrazowania wpływu zmiany obciążenia na czas pracy do uszkodzenia przy trzech wartościach wskaźnika przyspieszenia N , można posłużyć się tabelą 1 zaczerpniętą z pracy [2].

Tablica 1

Intensywność wpływu obciążenia
na czas pracy do uszkodzenia

Wskaźnik przyspieszenia N	4	7	9
Procentowy wzrost poziomu obciążenia wywołujący 50% skrócenie czasu pracy do uszkodzenia	18,9%	10,4%	8,1%
Procentowe obniżenie poziomu obciążenia potrzebne do przedłużenia czasu pracy do uszkodzenia o 50%	9,7%	5,6%	4,4%

Ograniczenia zastosowań omówionej wyżej metody wynikają z empirycznego charakteru wyznaczania wskaźnika przyspieszenia N , którego wartości liczbowe obowiązują tylko dla małych $(x - x_0)$ i dla typów obiektów poddanych badaniu.

Należy podkreślić, że ograniczenie to jest także niezbędne dla wyrażenia średniego czasu do uszkodzenia jako funkcji poziomu obciążenia x w równaniu (4). Także postać funkcji gęstości rozkładu (1) może być stosowana gdy współczynnik wariacji $k_w \cong 1$. Dla innych wartości tego współczynnika przydatne będą inne typy zakładów np. Weibulla dla $k_{wb} = 1,9$ lub rozkład gamma dla $k_g \cong 6$ charakteryzujący obiekty o przeważającym wpływie zużycia naturalnego na proces uszkodzania.

Dla ilustracji zastosowań metody do badań niezawodności maszyn górniczych można wskazać takie elementy jak: koła zębate (x - moment obrotowy), przewody wysokociśnieniowe i uszczelnienia obiegów hydraulicznych (x - ciśnienie), łożyska ślizgowe wykładziny sprzęgieł, hamulców i mechanizmów ciernych (x - naciski), raczki i żerdzie wiertnicze (x - energia uderzenia) itd. Przytoczone przykłady nie wyczerpują możliwości zastosowań metody, wskazują jednak na jej przydatność do badania wyłącznie elementów, których uszkodzenia można traktować jako nienaprawialne.

3. Metoda parametryczna

Przyjmuje się najczęściej wykładniczą postać funkcji rozkładu czasu pracy do uszkodzenia jak w równaniu (1). Obiekt poddawany jest obciążeniu (x_1) lub równocześnie złożonemu obciążeniu (x_1, T_1) . Dla obu przypadków zakłada się tę samą postać funkcji rozkładu (1), przy warunku $\lambda > 0$ i $t \geq 0$.

Zakłada się podobnie jak w rozdziale 2, że poziom obciążenia nie zmienia postaci tego rozkładu. Istnieje szereg sposobów wyrażenia związku pomiędzy parametrem (λ) i obciążeniem (x) . Niektóre przykłady podano poniżej [2], [3]:

3.1. Model wykładniczy

$$(\lambda_1)^{-1} = C(x_1)^{-P} \quad (6)$$

gdzie:

C i P są stałymi wyznaczonymi doświadczalnie.

3.2. Model Archeniusa, tutaj

$$\lambda_j = \exp [A - B(x_j)^{-1}] \quad (7)$$

gdzie:

A i B są stałymi doświadczalnymi.

3.3. Uogólniony model Eyringa

$$\lambda_{ik} = AT_1 \left[\exp - B/KT_1 \right] \exp \left[Cx_k + Dx_k/KT_1 \right] \quad (8)$$

gdzie:

A, B, C i D są stałymi doświadczalnymi;

 T_1 - jest obciążeniem termicznym;

K - jest stałą Boltzmana.

3.4. Postać wykładnicza z parametrem położenia τ_1 :

$$F(t, \lambda, \tau_1) = \lambda \exp \left[-t - \tau_1/\lambda \right]; \quad (9)$$

$$\tau_1 > 0; \quad t \geq \tau_1; \quad \lambda > 0.$$

Parametr τ_1 można wyrazić

$$\tau_1 = \alpha - \beta x_i$$

Ograniczenia stosowalności tej metody wynikają z arbitralnego założenia o postaci funkcji rozkładu czasu pracy do uszkodzenia. Mając na uwadze zastosowania należałoby najpierw wykonać badania a następnie stosując testy statystyczne zbadać dopuszczalność aproksymacji rozkładu empirycznego postacią wg równania (1). Przechodząc do ilustracji zastosowań metody w badaniach maszyn górniczych można wskazać takie zespoły, jak: sprzęgła hydrauliczne lub proszkowe, przekładnie przenośników zgrzebłowych i taśmowych, hydrauliczne stacje zasilające, ciągniki kombajnów itp.

4. Metoda nieparametryczna

Obserwacje czasu pracy do uszkodzenia w normalnych warunkach eksploatacji $\tau_0 = (y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_m)$ mają nieznaną rozkład G. Natomiast cza-

sy uszkodzeń z badań przyspieszonych $\tau = (x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n)$ mają także nieznaną rozkład F . Metodami regresji znajduje się oceny intensywności uszkodzeń w oparciu o rozkłady z próbek. Zakłada się tu rosnące intensywności uszkodzeń z tą różnicą, że uszkodzenia w badaniach przyspieszonych następują szybciej niż w normalnych warunkach pracy, tzn. zachodzi relacja

$$F(\tau) \geq G(\tau) \quad (10)$$

oraz, że istnieje zależność

$$F = G[\alpha(\tau)] \quad (11)$$

$\alpha(\tau)$ - jest nazywana funkcją transformacji czasu.

Rozkłady doświadczalne G_m , F_n odpowiednio do G i F , mają estymatory \hat{G}_m i \hat{F}_n , takie że:

- \hat{G}_m i \hat{F}_n - mają rosnącą intensywność uszkodzeń,
- $\hat{G}_m(\tau) \leq \hat{F}_n(\tau)$ - spełniona jest nierówność dla wszystkich τ ,
- \hat{G}_m i \hat{F}_n - przybliżają rozkłady doświadczalne G_m i F_n w sensie najmniejszej różnicy kwadratów.

Estymatory funkcji rozkładów wyrażą się:

$$\hat{F}_n(\tau) = \exp[-\hat{\lambda}_n(x_j)\tau] \quad (12)$$

$$\hat{G}_m(\tau) = [\exp - \hat{\gamma}_m(y_i)] \tau_0 \quad (13)$$

Natomiast intensywności uszkodzeń będą

$$\hat{\lambda}_n(x_j) = \frac{\sum_1^{\tau} \lambda_n(x_j) F_n \{x_j\}}{\sum_1^{\tau} F_n \{x_j\}} ; \quad \hat{\lambda}_n(x_j) = \frac{-\log \bar{F}_n(x_j)}{x_j} \quad (14)$$

$$\hat{\gamma}_m(y_i) = \frac{\sum_1^{\tau} \gamma_m y_i G_m \{y_i\}}{\sum_1^{\tau_0} G_m \{y_i\}} ; \quad \hat{\gamma}_m(y_i) = \frac{-\log \bar{G}_m(y_i)}{y_i} \quad (15)$$

Można dla uproszczenia oznaczyć estymatory $\hat{\lambda}(x_j) = \lambda$ i $\hat{\gamma}(y_i) = \gamma$. Funkcja transformacji czasu jest rosnącą intensywnością uszkodzeń, jeżeli

$$\alpha(\tau) = \tau$$

$$\alpha(\tau) > \tau \quad - \text{ jest nie malejące dla } \tau \geq 0 \quad (16)$$

Metoda ta nie uwzględnia możliwości różnych poziomów obciążenia a także jego zmienności w czasie. Zwykle obciążenia w obu przypadkach, tak pracy w normalnych warunkach jak i w badaniach przyspieszonych, mają nieznanne rozkłady, niekiedy różne.

Z tych względów metoda ta mogłaby znaleźć zastosowanie w badaniach kompletnych maszyn zespołowych, zwłaszcza górniczych maszyn urabiających.

Warunki przyspieszenia mogłyby być stwarzane na stoiskach lub przez ułożenie badanej maszyny w pokładzie (ścianie) węgla trudnourabialnego.

5. Podsumowanie

5.1. Skracanie czasów badań niezawodności i trwałości maszyn górniczych ma uzasadnienie ekonomiczne i może być wykonywane metodami badań przyspieszonych.

5.2. Stosowanie badań przyspieszonych wymaga realizacji specjalnych programów i opanowania indywidualnych metodyk badań przyspieszonych.

5.3. Badania przyspieszone nie uwzględniające ich złożoności i specyfiki są bezwartościowe, uniemożliwiając prawidłowe prognozowanie zachowania się maszyn górniczych w normalnej eksploatacji.

5.4. Wobec wytycznych i programów perspektywicznych poprawy jakości wyrobów, badania przyspieszone nabierają szczególnego znaczenia gospodarczego i technicznego.

LITERATURA

- [1] BORLOV R.E., SCHENER E.M.: "Estimation from Accelerated Life Test" Technometrics Vd. 13, No 1/1971.
- [2] PIETRUSCHKA E.: "Principles of Reliability" Prentice - Hall Inc. Englewood Cliffs, New York - 1963.
- [3] "Proceedings Annual Symposium on Reliability" Waschington D.C. 1971.

ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

Р е з ю м е

Постулат сокращения времени исследования надежности технических объектов имеет значение, прежде всего, экономическое.

С научной точки зрения самым главным является сохранить эту самую модель повреждений объекта подаваемого эксплуатационным нагрузком и увеличенным нагрузкой во время ускоренных исследований.

Существует ряд гипотез правильного решения этой задачи, примеры приводятся в статье. Следует подчеркнуть, что нет еще принятой универсальной методики ускоренных исследований.

THE APPLICATION OF ACCELERATED INVESTIGATIONS TO THE ESTIMATION
OF MINING MACHINERY RELIABILITY

S u m m a r y:

The postulate of shortening the time devoted to investigating the reliability of a technical object has mainly the economical justification.

From the scientific viewpoint the most important thing is to preserve the same model of damages in an object undergoing service loads as well as increased loads during accelerated investigations. There exists a series of hypotheses as to the correct solution of this task, the examples of which are given in the article, however, it should be emphasized that up till now there has been a total lack of generally accepted universal methodology of accelerated investigations.